



TUGAS AKHIR – MO 141326

## STUDI POTENSI *SOIL LIQUEFACTION* DI RENCANA LOKASI GENTING OIL KASURI PAPUA BARAT

CAROLINA ARDHYLLA SASANTI

NRP. 4311 100 019

Dosen Pembimbing :

Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2015



FINAL PROJECT – MO 141326

## POTENTIAL STUDY OF SOIL LIQUEFACTION IN SITE PLAN OF GENTING OIL KASURI WEST PAPUA

CAROLINA ARDHYLLA SASANTI

NRP 4311 100 019

Supervisors :

Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.

Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Institute Technology of Sepuluh Nopember

Surabaya

2015

**STUDI POTENSI *SOIL LIQUEFACTION* DI RENCANA LOKASI  
GENTING OIL KASURI PAPUA BARAT**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**CAROLINA ARDHYLLA SASANTI**

NRP. 4311 100 019

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

1. Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng ..... (Pembimbing 1)

2. Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc ..... (Pembimbing 2)



SURABAYA, DESEMBER 2015

# **STUDI POTENSI *SOIL LIQUEFACTION* DI RENCANA LOKASI GENTING OIL KASURI PAPUA BARAT**

**Nama Mahasiswa** : Carolina Ardhylla Sasanti  
**NRP** : 4311 100 019  
**Jurusan** : Teknik Kelautan FTK-ITS  
**Dosen Pembimbing** : 1. Dr. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.  
2. Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

## **Abstrak**

Genting Oil Kasuri Pte. Ltd adalah operator yang dipersiapkan untuk mengembangkan Blok Kasuri. Terdapat tiga lokasi di Papua Barat yang dipilih yaitu, Katsuri, Sumuri dan Bintuni. Di lokasi studi tersebut menunjukkan bahwa kondisi tanah sebagian besar merupakan tanah dengan kandungan pasir yang sangat berpotensi terjadi *soil liquefaction*. Potensi *soil liquefaction* dievaluasi berdasarkan nilai *Safety Factor* (SF) yang merupakan perbandingan antara *Cyclic Resistance Ratio* (CRR) dan *Cyclic Stress Ratio* (CSR). Nilai CSR dihitung dari parameter gempa sedangkan data *Standart Penetration Test* (SPT) digunakan untuk menghitung nilai CRR. Hasil analisa menunjukkan dengan gempa *magnitude* 5 tidak berpotensi *soil liquefaction*, sedangkan pada *magnitude* 6, 6,5, 7 dan 7,5 mengalami *soil liquefaction*. Hal ini ditunjukkan oleh nilai SF yang lebih kecil daripada 1. Setelah mengetahui lokasi studi mengalami *soil liquefaction*, selanjutnya memperkirakan kedalaman *settlement*. Pada gempa dengan  $M_w 6 = 35.91$  cm,  $M_w 6.5 = 39.15$  cm,  $M_w 7 = 41.95$  dan  $M_w 7.5 = 44.39$ .

# ***POTENTIAL STUDY OF SOIL LIQUEFACTION IN SITE PLAN OF GENTING OIL KASURI WEST PAPUA***

**Name of Student** : Carolina Ardhylla Sasanti  
**NRP** : 4311 100 019  
**Department** : Ocean Engineering FTK – ITS  
**Supervisors** : 1. Dr. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng.  
2. Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc

## **Abstract**

*Genting Oil Kasuari Pte. Ltd. is an operator pointed to expand Kasuari Block. There are three location chosen in West Papua; Katsuari, Sumuri, and Bintuni. Study in location area shows that its soil condition mostly are sand with potential of soil liquefaction. Soil Liquefaction potential evaluated based on the Safety Factor (SF) which is comparison between Cyclic Resistance Ratio (CRR) and Cyclic Stress Ratio (CSR). CSR value calculated by earthquake parameter, while the Standard Penetration Test (SPT) use to calculate CRR. Result show that earthquake with magnitude 5 is not potentially cause Soil Liquefaction, but earthquake with magnitude 6, 6.5, and 7.5 will cause Soil Liquefaction. This result based on SF with value less than 1.0. After Soil Liquefaction has been identified, then estimate depth of Settlement. It is gotten earthquake with  $M_w 6 = 35.91 \text{ cm}$ ,  $M_w 6.5 = 39.15 \text{ cm}$ ,  $M_w 7 = 41.95 \text{ cm}$ , and  $M_w 7.5 = 44.39 \text{ cm}$ .*

## KATA PENGANTAR

Puji Syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar. Ucapan terima kasih penulis haturkan kepada Dr. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng. Dan Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang selalu menuntun dan mengarahkan penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini hingga selesai.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas Akhir yang berjudul “ Studi Potensi *Soil Liquefaction* di Rencana Lokasi Genting Oil Kasuri Papua Barat ” ini menjelaskan mengenai analisis terhadap terjadinya *soil liquefaction* yang diakibatkan gempa bumi dan kedalaman *settlement* (penurunan tanah) yang akan terjadi di Genting Oil Kasuri Papua Barat.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini masih terdapat berbagai kekurangan. Oleh karena itu, saran dan kritik sangat diharapkan sebagai bahan penyempurnaan laporan selanjutnya. Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi dan mitigasi bencana di bidang kelautan, bagi pembaca umumnya dan penulis khususnya.

Surabaya, 08 Nopember 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>UCAPAN TERIMAKASIH</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xiv
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	3
1.6 Sistematika Penulisan .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSATAKA DAN DASAR TEORI</b> .....	5
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.2 Dasar Teori .....	6
2.2.1 <i>Soil Liquefaction</i> .....	6
2.2.2 Pengaruh Ukuran Butiran Tanah Terhadap <i>Soil Liquefaction</i> .....	9
2.3 <i>Soil Liquefaction</i> Berdasarkan Data SPT ( <i>Standard Penetration Test</i> ) .....	11
2.4 <i>Standard Penetration Test (SPT)</i> .....	20
2.5 Penurunan Tanah ( <i>Settlement</i> ) .....	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....	25

3.1 Skema Diagram Alir .....	25
3.2 Prosedur Penelitian .....	27
<b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN</b> .....	29
4.1 Daerah Studi .....	29
4.2 Pengumpulan Data .....	30
4.2.1 Data Gempa.....	30
4.2.2 Data Tanah dan $N_{SPT}$ .....	32
4.3 Identifikasi Bahaya .....	34
4.4 Analisa dan Pembahasan.....	34
4.4.1 Perhitungan Nilai SF ( <i>Safety Factor</i> ).....	34
4.4.2 Perhitungan Penurunan Tanah ( <i>Settlement</i> ) .....	45
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	55
5.1 Kesimpulan .....	55
5.2 Saran .....	55
DAFTAR PUSTAKA.....	57
LAMPIRAN	



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Peta Lokasi Genting Oil Kasuri .....	1
Gambar 2.1	Ilustrasi Sederhana Penjabaran Terjadinya <i>Soil Liquefaction</i> Akibat Gempa Bumi .....	7
Gambar 2.2	Ilustrasi Sederhana Penjabaran Fenomena <i>Soil Liquefaction</i> .....	7
Gambar 2.3	Segitiga Tekstur .....	10
Gambar 2.4	Potensi <i>Soil Liquefaction</i> Berdasarkan Diameter Butiran Tanah .....	11
Gambar 2.5	Ilustrasi Gaya Seismik Arah Horizontal .....	14
Gambar 2.6	Perbandingan Antara $r_d$ Versus Kedalaman Dengan Penambahan Grafik Rata - Rata .....	17
Gambar 2.7	Kurva Hubungan CRR dan $(N_1)_{60}$ Untuk Gempa Dengan <i>Magnitude 7.5</i> dari Data Histori Kasus <i>Soil Liquefaction</i> .....	19
Gambar 2.8	Kurva Hubungan MSFs dan <i>Magnitude</i> .....	19
Gambar 2.9	Mekanisme <i>Standard Penetration Test</i> (SPT) .....	21
Gambar 2.10	Alat Pengambilan Contoh Tabung Belah .....	22
Gambar 4.1	Peta Lokasi Genting Oil Kasuri .....	29
Gambar 4.2	Peta <i>Epicentres</i> Gempa Bumi dari Tahun 1900 - 2010 .....	30
Gambar 4.3	Peta Percepatan Gempa Maksimum di Batuan Dasar (SB) Indonesia Dalam SNI 03-1726-2002 .....	31
Gambar 4.4	Grafik SF ( <i>Safety Factor</i> ) pada <i>Magnitude 5</i> .....	35
Gambar 4.5	Grafik SF ( <i>Safety Factor</i> ) pada <i>Magnitude 6</i> .....	36
Gambar 4.6	Grafik SF ( <i>Safety Factor</i> ) pada <i>Magnitude 6.5</i> .....	37
Gambar 4.7	Grafik SF ( <i>Safety Factor</i> ) pada <i>Magnitude 7</i> .....	38
Gambar 4.8	Grafik SF ( <i>Safety Factor</i> ) pada <i>Magnitude 7.5</i> .....	39
Gambar 4.9	Grafik Penurunan Tanah ( <i>Settlement</i> ) pada <i>Magnitude 7.5</i> .....	14
Gambar 4.10	Diagram alir pengerjaan analisis seismik .....	17
Gambar 4.11	Beban Struktur .....	19

Gambar 4.8 Grafik SF ( <i>Safety Factor</i> ) pada <i>Magnitude 7.5</i> .....	39
Gambar 4.9 Grafik Penurunan Tanah ( <i>Settlement</i> ) pada <i>Magnitude 7.5</i> .....	46
Gambar 4.10 Grafik Penurunan Tanah ( <i>Settlement</i> ) pada <i>Magnitude 7</i> .....	47
Gambar 4.11 Grafik Penurunan Tanah ( <i>Settlement</i> ) pada <i>Magnitude 6.5</i> .....	48
Gambar 4.12 Grafik Penurunan Tanah ( <i>Settlement</i> ) pada <i>Magnitude 6</i> .....	49
Gambar 4.13 Grafik Gabungan Penurunan Tanah Keseluruhan .....	54

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi Tekstur Tanah Menurut Beberapa Sistem .....	9
Tabel 2.2 Korelasi Antara Nilai N-SPT Dengan Berat Jenis Tanah ( $\gamma$ ).....	12
Tabel 2.3 Korelasi Berat Jenis Tanah ( $\gamma$ ) Untuk Tanah Non Kohesif dan Kohesif .....	12
Tabel 2.4 Korelasi Berat Jenis Tanah Jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) Untuk Tanah Non Kohesif .....	13
Tabel 2.5 Nilai Tipikal Berat Volume Tanah.....	13
Tabel 2.6 Nilai MSFs .....	20
Tabel 2.7 Faktor Koresksi Untuk SPT .....	22
Tabel 4.1 Percepatan Puncak Sesuai Dengan Pembagian Wilayah Gempa .....	31
Tabel 4.2 Nilai $N_{SPT}$ Dalam Setiap Kedalaman.....	33
Tabel 4.3 Nilai SF Magnitude 5 .....	40
Tabel 4.4 Nilai SF Magnitude 6 .....	41
Tabel 4.5 Nilai SF Magnitude 6.5 .....	42
Tabel 4.6 Nilai SF Magnitude 7 .....	43
Tabel 4.7 Nilai SF Magnitude 7.5 .....	44
Tabel 4.8 Perhitungan Penurunan Tanah ( <i>Settlement</i> )Magnitude 6 .....	50
Tabel 4.9 Perhitungan Penurunan Tanah ( <i>Settlement</i> )Magnitude 6.5 .....	51
Tabel 4.10 Perhitungan Penurunan Tanah ( <i>Settlement</i> )Magnitude 7 .....	52
Tabel 4.10 Perhitungan Penurunan Tanah ( <i>Settlement</i> )Magnitude 7.5 .....	53

## DAFTAR NOTASI

$\Phi$	: Sudut geser
F	: Gaya geser (N)
N	: Gaya normal (N)
A	: Luasan efektif (m <sup>2</sup> )
W	: Berat total <i>soil column</i>
u	: Tekanan air (N/m <sup>2</sup> )
$\tau$	: Tegangan Geser Tanah (N/m <sup>2</sup> )
$\sigma$	: Tegangan Total (N/m <sup>2</sup> )
$\sigma'$	: Tegangan Efektif (N/m <sup>2</sup> )
CSR	: <i>Cyclic Stress Ratio</i>
CRR	: <i>Cyclic Resistance Ratio</i>
$a_{\max}$	: Percepatan horizontal maximum akibat gempa
g	: Percepatan Gravitasi
$r_d$	: Koefisien tegangan reduksi
$\gamma_w$	: Berat volume air (9,8 kN/m <sup>3</sup> )
$\gamma_{\text{sat}}$	: Berat volume tanah jenuh air
$\gamma_t$	: Berat total jenis tanah (kN/m <sup>3</sup> )
Gs	: Berat spesifik butiran padat
e	: Void ratio ( angka pori)
z	: Jarak kedalam (m)

$(N_1)_{60}$  : Jumlah tumbukan untuk setiap 60 inch

MSF : *Magnitude scalling factor*

M : Magnitude gempa

## **DAFTAR LAMPIRAN**

**LAMPIRAN A DATA TANAH**

**LAMPIRAN B OUTPUT CSR CALCULATION**

**LAMPIRAN C OUTPUT CRR CALCULATION**

**LAMPIRAN D LIQUEFACTION ANALYSIS**

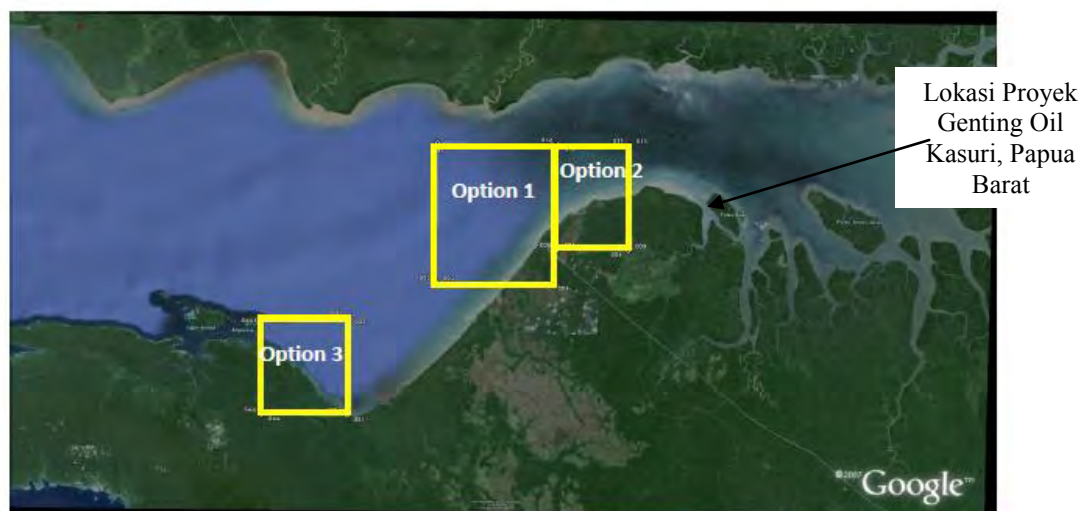
# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Genting Oil Kasuri Pte. Ltd adalah operator yang dipersiapkan untuk mengembangkan Blok Kasuri. Perusahaan ini membutuhkan survei geofisika dan survei geoteknik sebelum proses pengembangannya. Salah satunya adalah pengembangan struktur *jetty* disekitar lokasi pengembangan. Dalam rangka mengoptimalkan survei, diperlukan pengumpulan data dan informasi untuk mendapatkan lokasi terbaik untuk struktur *jetty*. Namun penulis menganggap masih diperlukan analisis tentang *soil liquefaction* pada lokasi – lokasi tersebut. Analisa ini akan memberikan gambaran mengenai stabilitas tanah di lokasi akibat beban gempa.

Proyek terbaru yang saat ini sedang ditangani Genting Oil Kasuri Pte. Ltd yaitu lapangan migas Blok Kasuri yang lokasinya berada di teluk Bintuni terletak di Papua Barat. Ada 3 lokasi yang dipilih sebagai lokasi potensial untuk struktur *jetty*. Lokasi 1 (Kastsuri), lokasi 2 (Sumuri), dan lokasi 3 (Bintuni).



Gambar 1.1 Peta Lokasi Genting Oil Kasuri  
(Sumber: Kasuri PSC Project Overview)

*Jetty* adalah bangunan tegak lurus pantai yang diletakan di kedua sisi muara sungai yang berfungsi untuk mengurangi pendangkalan alur oleh sedimen pantai (Syahrin, 2010).

Pada penggunaan muara sungai sebagai alur pelayaran, pengendapan dimuara dapat mengganggu lalu lintas kapal. Untuk keperluan tersebut *jetty* harus panjang sampai ujungnya berada di luar sedimen sepanjang pantai yang sangat berpengaruh terhadap pembentukan endapan tersebut. Pasir yang melintas didepan muara gelombang pecah. Dengan adanya struktur *jetty*, panjang *transport* sedimen sepanjang pantai dapat tertahan dan pada alur pelayaran kondisi gelombang tidak pecah, selain itu alasan panjang struktur *jetty* harus mengakomodasi *drafft* kapal yang akan merapat.

Ditinjau dari kondisi tanah dan kondisi lingkungan perairan tersebut, terdapat kemungkinan terjadinya *soil liquefaction* pada daerah struktur *jetty* tersebut. Hal ini dikarenakan oleh adanya pengaruh gelombang gempa bumi yang merambat di tanah berpasir jenuh air. Karena alasan tersebut maka diperlukan adanya analisa potensi *soil liquefaction* untuk merencanakan seberapa kuat daya dukung tanah di sepanjang jalur struktur *jetty*.

Tugas akhir ini akan menganalisa kemungkinan terjadinya *soil liquefaction* dan pengaruhnya terhadap struktur *jetty*.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Adapun perumusan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini antara lain sebagai berikut,

1. Bagaimana kemungkinan terjadinya *soil liquefaction* diakibatkan gempa bumi?
2. Bagaimana pengaruh *soil liquefaction* terhadap struktur *jetty* khususnya yang berkaitan dengan *settlement* yang mungkin terjadi?



### 1.3 Tujuan Penelitian

Dari perumusan masalah diatas, dapat diambil tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini adalah,

1. Memperkirakan kemungkinan terjadinya *soil liquefaction* diakibatkan gempa bumi.
2. Memperkirakan kedalaman *settlement* yang mungkin terjadi.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini adalah dapat mengetahui lokasi *soil liquefaction* akibat gempa, yang dapat menyebabkan kegagalan pada struktur *jetty*. Hasil penelitian yang telah dilakukan diharapkan dapat dijadikan sebagai rujukan oleh pihak terkait ataupun sebagai acuan untuk penelitian yang lebih lanjut dalam bidang yang sama.

### 1.5 Batasan Masalah

- a) Penelitian mengambil studi kasus Genting Oil kasuri Pte. Ltd.
- b) Data lingkungan sesuai data lapangan
- c) Hanya memperhitungkan terjadinya *soil liquefaction* karena gempa bumi.
- d) Tidak memperhitungkan efek *wave – induced liquefaction*.

### 1.6 Sistematika Penulisan

- a) BAB I, Pendahuluan, menjelaskan tentang latar belakang penulisan, permasalahan yang dibahas dalam penulisan, apa yang akan dilakukan, batasan masalah, tujuan dan manfaat penulisan tugas akhir.
- b) BAB II, Tinjauan pustaka dan dasar teori, menjelaskan tentang dasar teori dan tinjauan pustaka yang menjadi sumber referensi dalam tugas akhir ini dibahas dalam bab dua.

- c) BAB III, Metodologi Penelitian, menjelaskan metodologi penelitian yang akan digunakan untuk mengerjakan tugas akhir. Penjelasan tentang langkah-langkah analisa serta langkah permodelan dengan *software*.
- d) BAB IV, Analisa data dan pembahasan, membahas hasil dari analisa yang telah dilakukan pada penelitian, meliputi analisa hasil, dan pembahasan hasil analisa.
- e) BAB V, Kesimpulan dan saran, berisi tentang kesimpulan setelah dilakukan analisa dan saran serta rekomendasi dari hasil pengerjaan tugas akhir.
- f) Daftar pustaka menampilkan seluruh informasi dan dokumen tertulis yang dijadikan landasan dan pengembangan penelitian.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

Para ahli menyebutkan bahwa *soil liquefaction* adalah penyebab utama kerusakan parah yang terjadi di wilayah Chi-chi, Taiwan, pada tahun 1999, lalu di Kobe, Jepang, pada tahun 1996 serta wilayah Alaska pada tahun 1964 (The Japanese Geotechnical Society, 1998). Setelah pergerakan tanah akibat terjadinya gempa bumi di daerah tersebut berhenti, butiran – butiran tanah yang menjadi penyangga atau pondasi bagi bangunan struktur yang ada di atasnya mengalami penurunan secara signifikan. Dan hal ini menyebabkan struktur – struktur tersebut mengalami kegagalan atau keruntuhan.

*Soil liquefaction* juga merujuk pada hilangnya kekuatan tanah pada keadaan jenuh air, atau dengan kata lain, hilangnya sifat kohesi pada partikel tanah yang diakibatkan oleh tekanan-tekanan air pada pori-pori tanah selama terjadinya beban dinamik seperti gelombang seismik atau gelombang gempa. Sladen et al. (1985) juga memberikan uraian mengenai *soil liquefaction*, yaitu: “*Soil liquefaction* adalah sebuah fenomena dimana massa tanah hilang dalam presentase yang sangat besar pada tahanan gesernya akibat beban monotik, siklik maupun beban kejut dimana beban tersebut mengalir seperti sebuah cairan hingga tegangan geser partikel tanah tersebut rendah seperti berkurangnya daya dukung geser yang dimilikinya.”

Pada penelitian (Faisal, 2010) mengungkapkan *safety factor* dari data periode gempa 6 tahunan di titik SB1 sampai SB5, didapatkan hasil analisa bahwa *soil liquefaction* terjadi pada saat *magnitude* 4,7 dengan nilai  $a_{\max}$  0,36 dan saat *magnitude* 5,1 dengan nilai  $a_{\max}$  0,89. Hasil analisa didapatkan bahwa *soil liquefaction* terjadi pada saat *magnitude* 4,7.

## 2.2 Dasar Teori

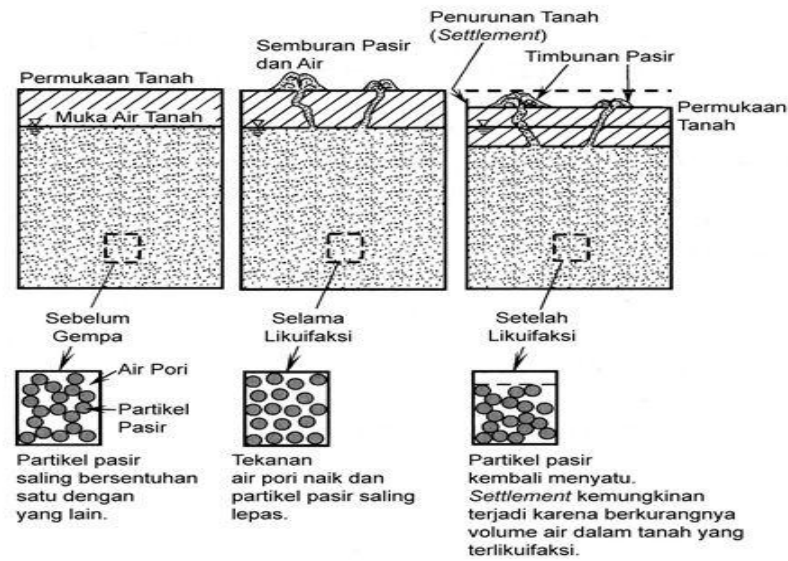
### 2.2.1 Soil Liquefaction

*Soil liquefaction* adalah fenomena dimana massa tanah hilang dalam presentase yang sangat besar pada tahanan gesernya akibat beban monotik, siklik, maupun beban kejut dimana beban tersebut mengalir seperti cairan hingga tegangan geser partikel tersebut rendah seperti berkurangnya daya dukung geser yang dimilikinya (Sladen et al, 1985).

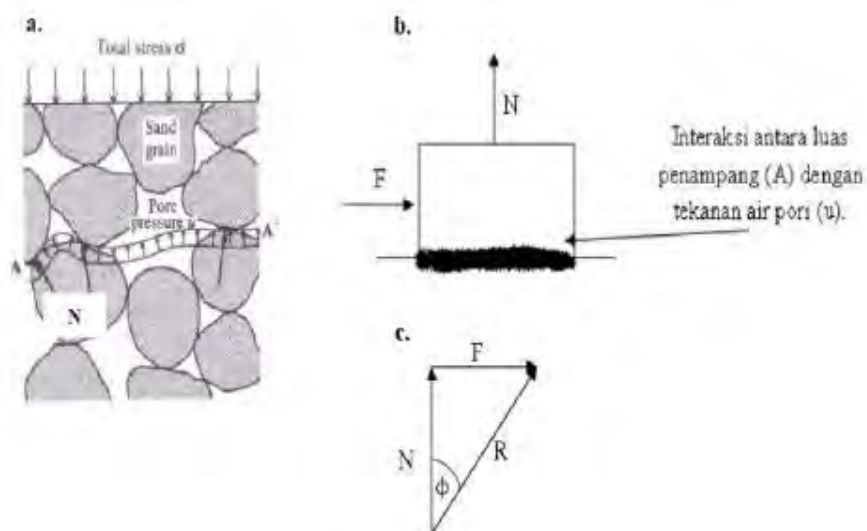
Secara umum, *soil liquefaction* hanya terjadi apabila suatu tanah memenuhi syarat - syarat tertentu. Jadi apabila tanah tersebut tidak memenuhi syarat tersebut, maka tanah tidak berpotensi untuk terjadi *soil liquefaction*. Maka dari itu, agar tidak terjadi *soil liquefaction*, perencanaan pembangunan harus menghindari tanah – tanah yang telah memenuhi syarat terjadinya *soil liquefaction*. *Soil liquefaction* biasanya terjadi pada tanah atau lahan yang tidak terlalu padat. Misalnya tanah yang terbentuk dari pasir atau endapan bekas delta sungai. Tanah semacam ini cenderung tidak padat sehingga memiliki rongga yang banyak.

Fenomena *soil liquefaction* lebih mudah dipahami apabila mengacu pada Gambar 2.1 dan Gambar 2.2 serta persamaan (2.1) hingga persamaan (2.8).

Pada kondisi seperti pada Gambar 2.1, sebagian besar beban dipikul oleh air, sehingga pemikulan beban tersebut menjadi tidak stabil. Hal tersebut dapat terjadi juga pada beban dari gedung pada tanah yang mengalami *soil liquefaction*, maka gedung tersebut dapat berakibat tenggelam ke dalam tanah. Dalam suatu kejadian yang lebih ekstrim lagi, tekanan air pori dapat menjadi sangat tinggi sehingga lebih banyak lagi partikel yang terdorong sehingga tidak ada lagi yang berhubungan. Dalam kasus-kasus yang demikian, kekuatan tanah itu akan menjadi sangat kecil dan akan bertindak lebih seperti suatu zat cair dibanding suatu padat. Pada Gambar 2.2 dijelaskan gaya – gaya yang bekerja pada saat *soil liquefaction*.



Gambar 2.1 Ilustrasi Sederhana Penjabaran Terjadinya *Soil Liquefaction* Akibat Gempa Bumi  
(sumber : Internasional Navigation Association, 2011)



Gambar 2.2 Ilustrasi Sederhana Penjabaran Fenomena *Soil Liquefaction*: a. Gambar Skematis Mengenai Gaya-Gaya Yang Bekerja; b. Interaksi Gaya-Gaya Yang Bekerja; c. Vektor Gaya-Gaya Yang Bekerja

(sumber : The Japanese Geotechnical Society, 1998)

Dari Gambar 2.2 dapat diketahui hubungan antara gaya normal (N dalam newton), gaya geser (F dalam newton) dan sudut geser ( $\Phi$ )

$$\tan \Phi = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

dengan memperhitungkan faktor tekanan air ( u dalam N/m<sup>2</sup>), maka persamaan (2.1) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F = (N - Au) \tan \Phi \quad (2.2)$$

Dimana A adalah luasan efektif dalam m<sup>2</sup>. Apabila kita membagi kedua ruas pada persamaan (2.2) dengan A, maka didapatkan :

$$\frac{F}{A} = \left( \frac{N}{A} - u \right) \tan \Phi \quad (2.3)$$

dengan :

$$\frac{F}{A} = \tau \quad (2.4)$$

$$\frac{N}{A} = \sigma \quad (2.5)$$

dimana  $\tau$  adalah tegangan geser tanah (N/m<sup>2</sup>) dan  $\sigma$  adalah tegangan total (N/m<sup>2</sup>). Substitusi persamaan (2.4) dan ( 2.5) ke dalam persamaan (2.3) menghasilkan :

$$\tau = ( \sigma - u ) \tan \Phi \quad (2.6)$$

Tegangan total adalah fungsi dari tegangan efektif dan tekanan air pori :

$$\sigma = \sigma' + u \quad (2.7)$$

maka persamaan (2.6) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\tau = \sigma' \tan \Phi \quad (2.8)$$

Dari persamaan (2.6) dan (2.8) dapat diindikasikan bahwa *soil liquefaction* dapat terjadi apabila tekanan air pori naik hingga mendekati harga tegangan total. Hal ini akan menyebabkan hilangnya tegangan efektif ( $\sigma''=0$ ) sehingga tanah cenderung bersifat seperti benda cair.

### 2.2.2 Pengaruh Ukuran Butiran Tanah Terhadap *Soil Liquefaction*

Tekstur tanah, biasa juga disebut besar butir tanah, termasuk salah satu sifat tanah yang paling sering ditetapkan. Hal ini disebabkan karena tekstur tanah berhubungan erat dengan pergerakan air dan zat terlarut, udara, pergerakan panas, berat volume tanah, luas permukaan spesifik (*specific surface*), kemudahan tanah memadat (*compressibility*), dan lain-lain (Hillel, 1982).

Tanah memiliki ukuran diameter butiran yang beragam. Berbagai lembaga penelitian atau institusi mempunyai kriteria sendiri untuk pembagian fraksi partikel tanah. Pada Tabel 2.1 diperlihatkan sistem klasifikasi fraksi partikel menurut International Soil Science Society (ISSS), United States Department of Agriculture (USDA) dan United States Public Roads Administration (USPRA).

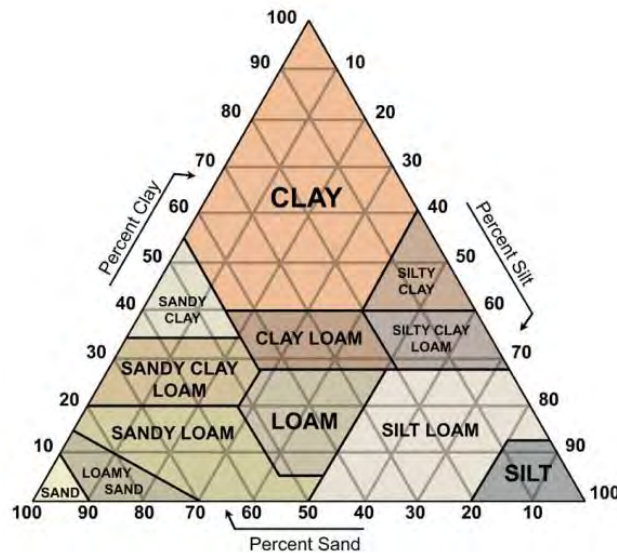
Tabel 2.1 Klasifikasi Tekstur Tanah Menurut Beberapa Sistem

ISSS		USDA		USPRA	
Diameter	Fraksi	Diameter	Fraksi	Diameter	Fraksi
mm		mm		mm	
> 2	Kerikil	>0.02	Kerikil	>2	Kerikil
0,02-2	Pasir	0,05-2	Pasir	0,05-2	Pasir
0,2-2	Kasar	1-2	Sangat kasar	0,25-2	Kasar
0,02-0,2	Halus	0,5-1	Kasar	0,05-0,25	Halus
		0,25-0,5	Sedang		
		0,1-0,25	Halus		
		0,05-0,1	Sangat halus		
0,002-0,02	Debu	0,002-0,05	Debu	0,005-0,05	Debu
<0,002	Liat	<0,002	Liat	<0,005	Liat

(Sumber : Hillel, 1982)

Tekstur tanah menunjukkan kasar dan halusnya tanah, tekstur tanah merupakan perbandingan antara butir - butir pasir debu dan liat. Teksur tanah dibedakan berdasarkan presentase kandungan pasir, debu dan liat (Hadjowigeno, 2002). Pada Gambar 2.3 merupakan perbandingan *sandy*, *silt* dan *clay* yang dikelompokkan atas

berbagai kelas tekstur seperti digambarkan pada segitiga tekstur. Cara penggunaan segitiga tekstur adalah sebagai berikut:

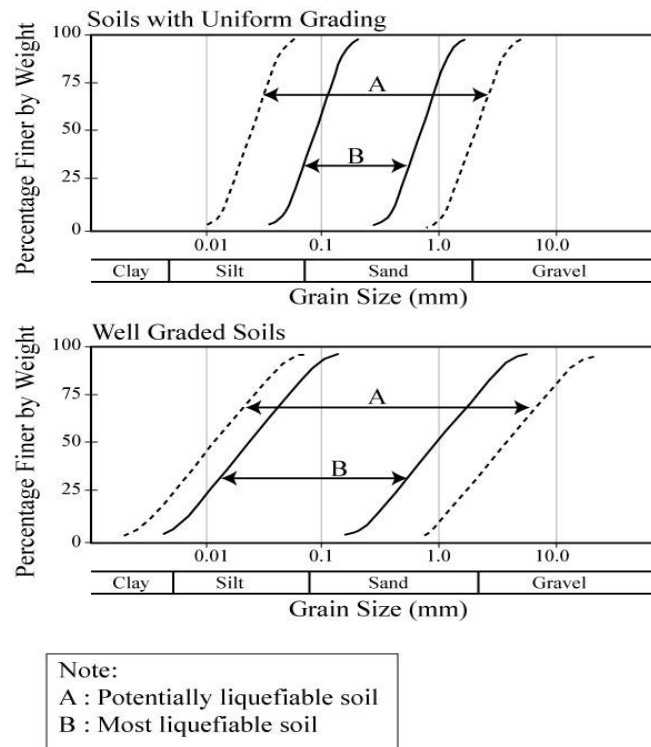


Gambar 2.3 Segitiga Tekstur

(sumber : [publiclab.org/wiki/soil](http://publiclab.org/wiki/soil))

Dan *soil liquefaction* hanya terjadi pada butiran tanah berpasir. Sedangkan pada butiran kasar (*gravels*) dan butiran halus (*clay*), sulit untuk terjadi *liquefaction*. Granulometri yang seragam dengan:  $0,20 \text{ mm} < D_{50} \leq 0,40 \text{ mm}$  adalah sensitif terhadap *liquefaction*. Bentuk butiran yang bulat atau bundar, relatif lebih buruk daripada yang berbentuk pipih atau angular bila dikaitkan dengan *liquefaction*. Hal ini merupakan awal langkah mengetahui potensi *soil liquefaction*. Dimana menggunakan data diameter butiran tanah yang terbagi antara daerah yang mudah terliquefaksi dan daerah yang tidak terliquefaksi. Tampak bahwa zone tanah terliquefaksi terletak pada butiran pasir halus. Pada Gambar 2.4 menunjukkan pengaruh dari granulometri butiran tanah terhadap *liquefaction*.





Gambar 2.4 Potensi *Liquefaction* Berdasarkan Diameter Butiran Tanah  
 (sumber : Oka F,1995)

### 2.3 Soil *Liquefaction* Berdasarkan Data SPT (Standard Penetration Test)

Diatas telah dijelaskan bahwa *soil liquefaction* bisa diakibatkan oleh faktor pemicu yang utama adalah terjadinya gempa bumi dan beban siklis yang disebabkan oleh gelombang laut pada suatu area tertentu. Dimana energi yang ditimbulkan tersebut dapat menyebabkan tanah kehilangan kohesivitasnya dan cukup untuk mengakibatkan *soil liquefaction*. Dalam tugas akhir ini hanya menganalisa *soil liquefaction* akibat gempa bumi. Langkah – langkah yang digunakan sebagai berikut :

#### a) SPT (*Standard Penetration Test*) correlation

Untuk menentukan korelasi empiris antara nilai N-SPT dengan berat jenis tanah jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) untuk tanah kohesif. dapat dilihat pada Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2.2 Korelasi antara nilai N-SPT dengan berat jenis tanah ( $\gamma$ )

SPT Penetration, N-value	Konsistensi	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )
< 2	Very soft	11 - 16
2 - 4	Soft	11 - 16
4 - 8	Medium	17 - 20
8 - 15	Stiff	17 - 22
15 - 30	Very stiff	17 - 22
>30	Hard	20 - 24

(Sumber : Soil Mechanic, Lambe & Whitman, from Terzaghi and Peck 1948, International Edition 1969)

Korelasi untuk menentukan berat jenis tanah ( $\gamma$ ) dan berat jenis tanah jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) pada tanah kohesif dan non kohesif dapat dilihat pada Tabel 2.3, Tabel 2.4 dan Tabel 2.5.

Tabel 2.3 Korelasi Berat Jenis Tanah ( $\gamma$ ) Untuk Tanah Non Kohensif dan Kohensif

	Cohesionless Soil				
N	0-10	11-30	31-50	>50	
Unit Weight $\gamma$ , kN/m <sup>3</sup>	12-16	14-18	16-20	18-23	
Angle of Friction $\phi$	25-32	28-36	30-40	>35	
State	Loose	Medium	Dense	Very Dense	
	Cohesive				
N	<4	4-6	6-15	16-25	>25
Unit Weight $\gamma$ , kN/m <sup>3</sup>	14-18	16-18	16-18	16-20	>20
$q_u$ kPa	<25	20-50	30-60	40-200	>100
Consistency	Very Soft	Soft	Medium	Stiff	Hard

(sumber : Soil Mechanics, Whilliam T., Whitman, Robert V., 1962)

Tabel 2.4 Korelasi Berat Jenis Tanah Jenuh ( $\gamma_{sat}$ ) Untuk Tanah Non Kohensif

Description	Very Loose	Loose	Medium	Dense	Very Dense
NSPT					
Fine	1-2	3-6	7-15	16-30	
Medium	2-3	4-7	8-20	21-40	>40
Coarse	3-6	5-9	10-25	26-45	>45
$\Phi$					
Fine	26-28	28-30	30-34	33-38	
Medium	27-28	30-32	32-36	36-42	<50
Coarse	28-30	30-34	33-34	40-50	
$\gamma_{wet} (kN/m^3)$	11-16	14-18	17-20	17-22	20-23

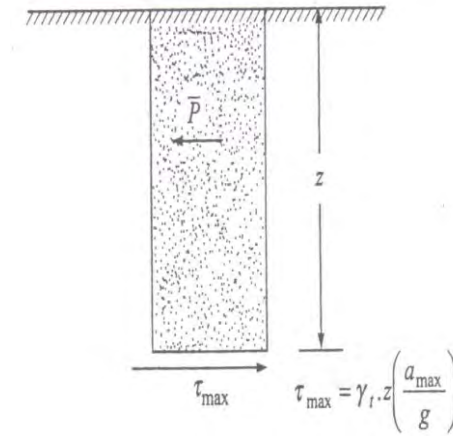
(sumber : Soil Mechanics, Whilliam T., Whitman, Robert V., 1962)

Tabel 2.5 Nilai Tipikal Berat Volume Tanah

Soil Type	$\gamma$ (lb/ft <sup>3</sup> )	$\gamma_{sub}$ (lb/ft <sup>3</sup> )
Sand; clean, uniform, fine or medium	84 - 136	52 - 73
Silt; uniform, inorganic	81 - 136	51 - 73
Silty Sand	88 - 142	54 - 79
Sand; Well-graded	86 - 148	53 - 86
Silty Sand and Gravel	90 - 155	56 - 92
Sandy or Silty Clay	100 - 147	38 - 85
Silty Clay with Gravel; uniform	115 - 151	53 - 89
Well-graded Gravel, Sand, Silt and Clay	125 - 156	62 - 94
Clay	94 - 133	31 - 71
Colloidal Clay	71 - 128	8 - 66
Organic Silt	87 - 131	25 - 69
Organic Clay	81 - 125	18 - 62

(Sumber : NAVFAC 7.01)

**b) Menentukan tegangan geser siklis dari partikel tanah**



Gambar 2.5 Ilustrasi Gaya Seismik Arah Horizontal  
(Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2009)

Pada Gambar 2.5 menunjukan  $\bar{P}$  adalah gaya seismik arah horizontal pada tanah.  $\bar{P}$  merupakan :

$$\bar{P} = \text{mass} \times \text{acceleration} \quad (2.9)$$

$$\text{Dimana mass} = \frac{W}{g} = \frac{\gamma_t \cdot z}{g}$$

maka dengan mengganti nilai massa pada persamaan (2.9), didapatkan

$$\bar{P} = \frac{\gamma_t \cdot z}{g} \cdot a_{max} = \sigma_{vo} \cdot \left( \frac{a_{max}}{g} \right) \quad (2.10)$$

Dimana :

$W$  = berat total *soil column*

$\gamma_t$  = berat total jenis tanah  $\left( \frac{kN}{m^3} \right)$

$z$  = kedalaman di bawah permukaan tanah dan dinyatakan dalam satuan meter

$a_{\max}$  = percepatan maksimum dipermukaan tanah, (m/s<sup>2</sup>)

$\sigma_{vo}$  = tegangan vertikal total, (N/m<sup>2</sup>)

Maksimum gaya geser  $\bar{P}$  sama dengan tegangan geser maksimum  $\tau_{\max}$ .

Persamaan kesetimbangan gaya dapat dilihat pada persamaan (2.11) :

$$\tau_{\max} = \bar{P} = \sigma_{vo} \left( \frac{a_{\max}}{g} \right) \quad (2.11)$$

Pada persamaan (2.11) kemudian bagi kedua sisi dengan  $\sigma'_{vo}$ ,

$$\frac{\tau_{\max}}{\sigma'_{vo}} = \left( \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) \frac{a_{\max}}{g} \quad (2.12)$$

Dengan mengurangi faktor  $r_d$  ke sisi kanan tanah menjadi

$$\frac{\tau_{\max}}{\sigma'_{vo}} = r_d \cdot \left( \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) \frac{a_{\max}}{g} \quad (2.13)$$

Seed and idriss (1971) mengusulkan metode yang disederhanakan dengan mengubah catatan gempa yang tidak teratur untuk siklus stress seragam dengan mengasumsikan sebagai berikut :

$$\tau_{av} = \tau_{cyc} = 0.65 \tau_{\max} \quad (2.14)$$

Berdasarkan persamaan (2.9) sampai (2.14) didapatkan rumus untuk menghitung *Cyclic Stress Ratio* (CSR). CSR (*Cyclic Stress Ratio*) merupakan nilai perbandingan antara tegangan geser rata-rata yang diakibatkan oleh gempa dengan tegangan vertikal efektif di tiap lapisan. Nilai CSR (*Cyclic Stress Ratio*) pada suatu lapisan tanah sangat dipengaruhi oleh nilai percepatan gempa. Seed and idriss (1971) menentukan nilai *Cyclic Stress Ratio* (CSR) dengan persamaan yang merupakan perbandingan dari tegangan rata – rata dengan tegan efektif seperti yang sudah dijabarkan pada persamaan – persamaan di atas, maka untuk menghitung CSR digunakan persamaan berikut.

$$CSR = 0.65 r_d \left( \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \right) \frac{a_{max}}{g} \quad (2.15)$$

dengan :

$a_{max}$  = percepatan maksimum dipermukaan tanah, (m/s<sup>2</sup>)

$g$  = percepatan gravitasi bumi, (m/s<sup>2</sup>)

$\sigma_v$  = tegangan vertikal total, (N/m<sup>2</sup>)

$\sigma_v'$  = tegangan vertikal efektif, (N/m<sup>2</sup>)

$r_d$  = faktor reduksi terhadap tegangan

Koefisien  $r_d$  adalah nilai dari fleksibilitas tanah profil menurut Liao dan Whitman (1986) :

$$r_d = 1.0 - 0.00765 \cdot z \quad \text{for } z \leq 9.15 \text{ m} \quad (2.16a)$$

$$r_d = 1.174 - 0.0267 \cdot z \quad \text{for } 9.15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m} \quad (2.16b)$$

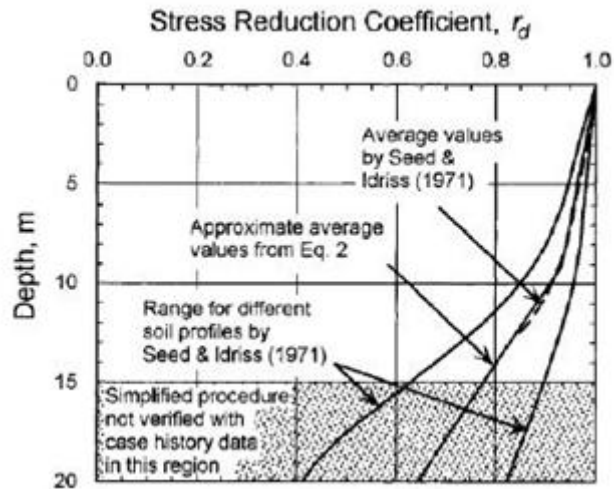
$$r_d = 0.744 - 0.008 \cdot z \quad \text{for } 23 \text{ m} < z \leq 30 \text{ m} \quad (2.16c)$$

$$r_d = 0.5 \quad \text{for } z > 30 \text{ m} \quad (2.16d)$$

$z$  = kedalaman di bawah permukaan tanah dan dinyatakan dalam satuan meter.

Nilai rata – rata dari  $r_d$  dihitung dari persamaan (2.16) dan digambarkan dalam Gambar 2.6 merupakan nilai rata – rata dan rentang yang telah ditentukan oleh Seed and Idriss (1971).  $r_d$  yang dihitung dari persamaan (2.16) adalah rata – rata dari rentangan yang besar dari  $r_d$  dan nilai rentangan  $r_d$  meningkat sesuai dengan kedalaman (Gelosorkhi 1989). T.F Blake (1996) menghitung harga  $r_d$  dengan persamaan (2.17)

$$r_d = \frac{(1.000 - 0.4113 z^{0.5} + 0.04052 z + 0.001753 z^{1.5})}{(1.000 - 0.4177 z^{0.5} + 0.05729 z - 0.006205 z^{1.5} + 0.001210 z^2)} \quad (2.17)$$



Gambar 2.6 Perbandingan Antara  $r_d$  Versus Kurva Kedalaman Dikembangkan Oleh Seed dan Idriss (1971) Dengan Penambahan Grafik Nilai Rata-Rata dari Persamaan (2.16)

Sedangkan nilai percepatan horizontal akibat gempa bumi ( $a_{\max}$ ) dihitung dengan menggunakan persamaan (Joyner and Boore, 1981) :

$$a_{\max} = -1.02 + 0.249 M - \log R - 0.00255 R \quad (2.18)$$

dengan :

$R$  = jarak episentrum (km)

$M$  = Magnitude gempa

### c) Menentukan CRR dari nilai $(N1)_{60}$

Setelah didapatkan nilai  $(N1)_{60}$  dari uji SPT untuk evaluasi resistensi *liquefaction* maka dapat dicari nilai Cyclic Resistance Ratio (CRR) dengan rumus (Rauch, 1998) :

$$CRR = \frac{1}{34 - (N1)_{60}} + \frac{(N1)_{60}}{135} + \frac{50}{(10(N1)_{60} + 45)} - \frac{1}{200} \quad (2.19)$$

Persamaan (2.13) valid untuk  $(N_1)_{60} < 30$ . Untuk  $(N_1)_{60} \geq 30$ , butiran tanah menjadi padat sehingga diklasifikasikan sebagai *non-liquefiable* yaitu tidak akan terjadi *liquefaction*.

**d) Faktor koreksi lain**

$$(N_1)_{60} = N_m C_N C_E C_B C_R C_S \quad (2.20)$$

Dimana

$N_m$  = diukur ketahanan penetrasi standar

$C_N$  = faktor untuk menormalkan  $N_m$  ke referensi umum efektif overburden stress

$C_E$  = koreksi untuk palu rasio energi (ER)

$C_B$  = faktor koreksi untuk diameter lubang bor

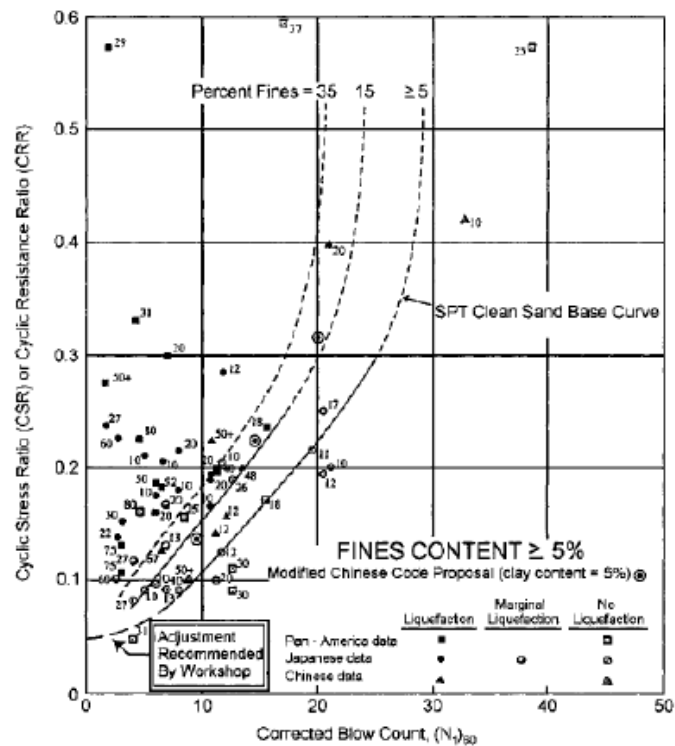
$C_R$  = faktor koreksi untuk panjang batang

$C_S$  = koreksi untuk samplers liners

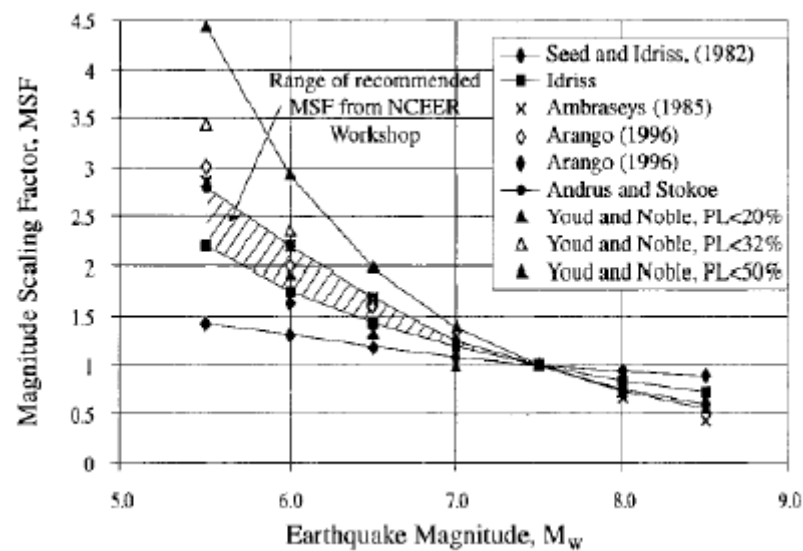
**e) Menentukan Magnitude Scaling Factor (MSFs)**

Dengan persamaan (2.13) hanya dapat dipakai untuk magnitude 7,5 ,maka untuk magnitude lebih kecil dan lebih besar dari 7,5 dapat dilihat hubungan MSFs dengan Magnitude pada Gambar 2.7.





Gambar 2.7 Kurva hubungan CRR dan  $(N_1)_{60}$  untuk gempa dengan magnitude 7,5 dari data histori kasus Liquefaction (Seed et al, 1985)



Gambar 2.8 Kurva hubungan MSFs dan Magnitude (Youd and Noble, 1997)

Tabel 2.6 Nilai MSFs

Magnitude	Seed and Idriss (1982)	Idriss (1984)	Abraseys (1988)	Andrus and Stokoe (1997)
5.5	1.43	2.20	2.86	2.80
6.0	1.32	1.76	2.20	2.10
6.5	1.19	1.44	1.69	1.60
7.0	1.08	1.19	1.30	1.25
7.5	1.00	1.00	1.00	1.00
8.0	0.94	0.84	0.67	0.80
8.5	0.89	0.72	0.44	0.65

(Youd and Noble, 1997)

#### e. Menentukan Safety Factor

Pada analisa *soil liquefaction* akibat gempa, *safety factor* dapat ditentukan setelah didapatkan nilai dari CRR dan CSR. (Noorzad et al.,2009) memberikan formula untuk menentukan nilai SF dengan perbandingan nilai CRR/CSR.

$$SF = \frac{CRR}{CSR} \quad (2.21)$$

SF tersebut merupakan komponen terpenting dalam perhitungan untuk memprediksi terjadi atau tidaknya *soil liquefaction*. Jha dan Suzuki (2008) memberikan sebuah hubungan antara besarnya harga SF dengan fenomena *soil liquefaction* yang akan terjadi, jika harga  $SF \leq 1$ , maka dapat dipastikan pada daerah tersebut akan mengalami *soil liquefaction*, tetapi bila harga  $SF > 1$ , maka tidak akan terjadi liquifaksi tanah pada daerah tersebut.

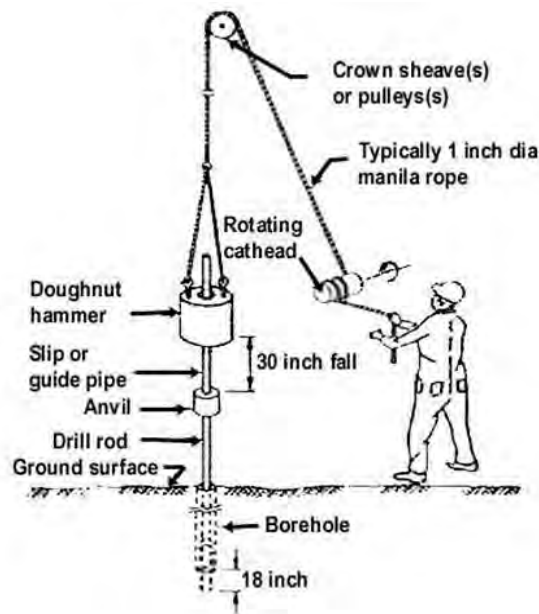
## 2.4 Standard Penetration Test ( SPT )

Uji Penetrasi Standar (SPT) adalah metode umum dalam pengujian *in situ* yang digunakan untuk menentukan sifat geoteknik bawah permukaan tanah. Ini adalah tes sederhana dan murah untuk memperkirakan kepadatan relatif tanah dan perkiraan parameter kekuatan geser. Deskripsi dan prosedur SPT menggunakan tabung sampel standar berdinding tebal ke dalam tanah di dasar lubang dengan pukulan dari slide palu dengan berat standar dan jarak jatuh. Tabung sampel berupa tabung besi berukuran 150

mm didorong ke dalam tanah dan kemudian jumlah pukulan yang diperlukan untuk tabung untuk masing-masing menembus 150 mm (6 inch) sampai dengan kedalaman 450 mm (18 inch) dicatat. Jumlah pukulan yang diperlukan untuk kedua dan ketiga 6 inch penetrasi dilaporkan sebagai nilai SPT *blowcount*, umum disebut sebagai "perlawanan penetrasi standar" atau "*N-value*".

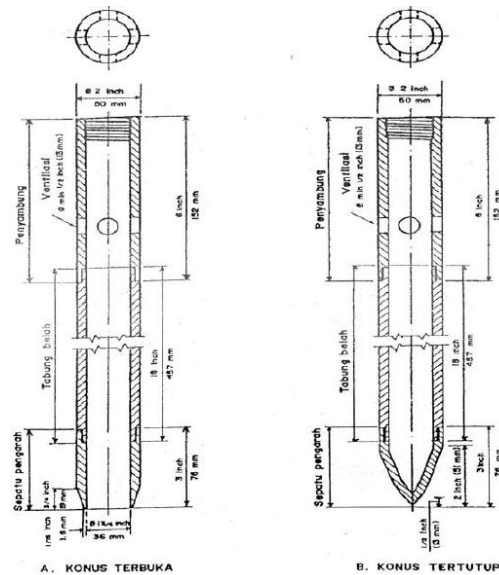
*N-value* memberikan indikasi kepadatan relatif dari tanah bawah permukaan, dan digunakan dalam geoteknik korelasi empiris untuk memperkirakan kekuatan geser approxiamative sifat tanah tersebut.

- Alat untuk Uji SPT ini dinamakan "*split spoon sample*".
- Standar Uji yang dipakai antara lain British Standard 1377-7:1990, ASTM D3441, ASTM D1586 – 08 a



Gambar 2.9 Mekanisme *Standard Penetration Test* (SPT)

(<http://www.geotech.missouri.edu/>)



Gambar 2.10 Alat Pengambilan Contoh Tabung Belah  
(<http://www.distrodoc.com/>)

Beberapa faktor yang mempengaruhi hasil SPT selain karakteristik butir, seperti tercantum dalam Tabel 2.7

Tabel 2.7 Faktor Koreksi Untuk SPT (Youd and Idriss, 1997)

Factor	Equipment Variable	Term	Correction
Overburden Pressure		$C_n$	See Figure
Energy Ratio	Safety Hammer Donut Hammer Automatic Trip Hammer	$C_e$	0.60 to 1.17 0.45 to 1.00 0.9 to 1.6 See Table 4.2 for details
Borehole Diameter	65 mm to 115 mm 150 mm 200 mm	$C_b$	1.0 1.05 1.15
Rod Length**	3 m to 4 m 4 m to 6 m 6 m to 10 m 10 m to 30 m >30 m	$C_r$	0.75 0.85 0.95 1.0 <1.0
Sampling Method	Standard sampler Sampler without liners	$C_s$	1.0 1.2

\* The Implementation Committee recommends using a minimum of 0.4.

\*\* Actual total rod length, not depth below ground surface

## 2.5 Penurunan Tanah (*Settlement*)

*Soil liquefaction* merupakan sebuah fenomena alam dimana tanah akan mengalami perubahan sifat dari sifat zat padat menuju sifat zat cair, akibat meningkatnya tekanan air pori tanah dan berkurangnya tegangan gesernya. Fenomena ini dapat menyebabkan terjadinya penurunan tanah di area dimana struktur *jetty* berada, sehingga dikhawatirkan akan menyebabkan kegagalan atau keruntuhan.

Memperkirakan seberapa dalam penurunan tanah (*settlement*) yang akan terjadi merupakan tugas yang paling penting untuk para praktisi teknik dalam melakukan analisa terkait *soil liquefaction*. Perhitungan kedalaman settlement dapat dilihat pada persamaan 2.22

$$S_{total} = \sum_{bottom}^d S_{sat} \quad (2.22)$$

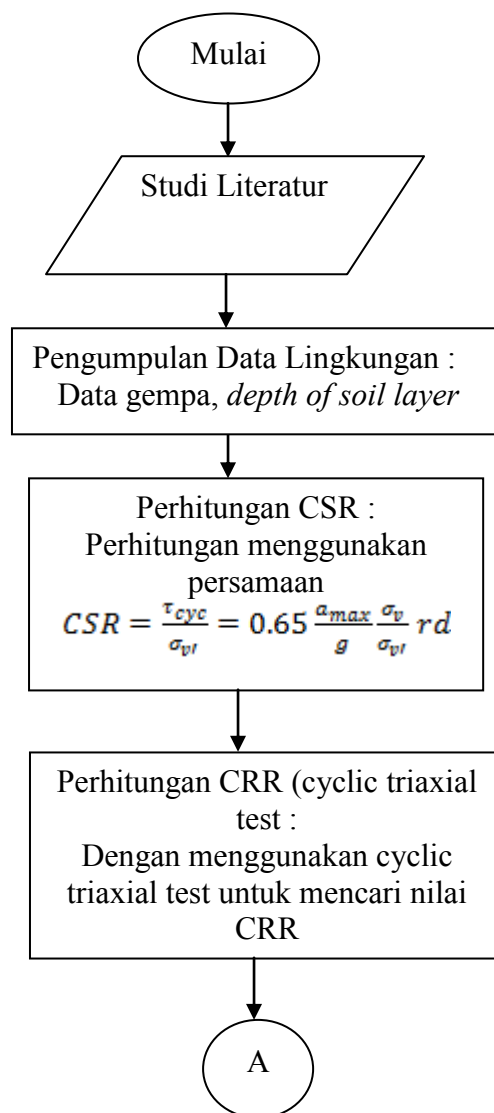
(halaman ini sengaja dikosongkan)

## BAB III

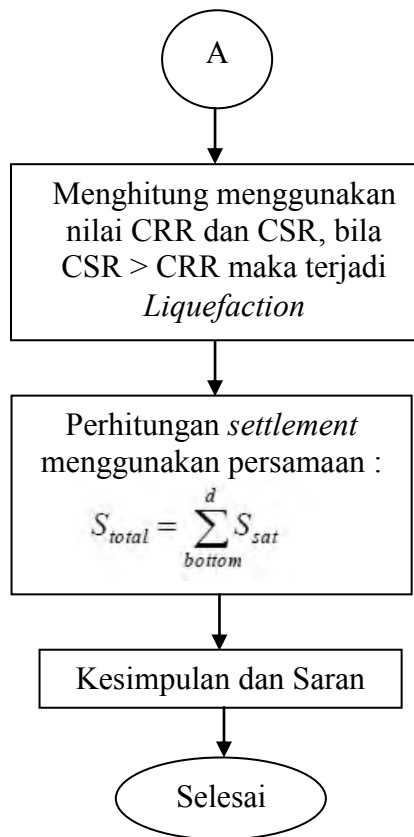
### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Skema Diagram Alir

Untuk mempermudah pelaksanaan penelitian, maka disusun suatu diagram alir (*flowchart*) sebagai berikut:



Gambar 3.1. *Flowchart* Penelitian



Gambar 3.2. Lanjutan *Flowchart* Penelitian



### 3.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian Tugas Akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Studi literatur

Studi literatur ini dilakukan untuk mencari dasar teori, studi pustaka dari penelitian terbaru, mempelajari, serta memahami *paper*, jurnal dan buku-buku yang berkaitan dengan tema penelitian yang dilakukan.

2. Pengumpulan Data

Data-data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

Data lingkungan yaitu data gempa bumi dan data tanah, dimana struktur *jetty* tersebut akan dibangun.

3. Perhitungan *Cyclic Stress Ratio* (CSR)

*Cyclic Stress Ratio* (CSR) merupakan nilai perbandingan antara tegangan geser rata-rata yang diakibatkan oleh gempa dengan tegangan vertikal efektif di tiap lapisan. Nilai CSR pada suatu lapisan tanah sangat dipengaruhi oleh nilai percepatan gempa. Dengan menganggap nilai percepatan rata-rata akibat gempa adalah 0.65 dari percepatan maksimum, maka nilai tegangan geser rata-rata dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut: (Seed et al,1971)

$$CSR = \frac{\tau_{cyc}}{\sigma_{v'}} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma_{v'}} r_d$$

4. Perhitungan *Cyclic Resistance Ratio* (CRR)

*Cyclic Resistance Ratio* (CRR) yang merupakan ketahanan tanah untuk menahan soil liquefaction. Nilai CRR dapat diperoleh dengan beberapa cara, berdasarkan persamaan (Skempton, 1986) :

$$(N1)_{60} = N_{SPT}.C_N.C_E.C_B.C_R.C_S$$

5. Menghitung Dengan Menggunakan Nilai CSR dan CRR

Setelah didapatkan kedua parameter tersebut, langkah yang harus dilakukan adalah penentuan nilai *Safety Factor* (SF) Perhitungan nilai SF pada analisa *soil liquefaction* yang diakibatkan oleh gempa, harus dikalikan dengan *Magnitude Scaling Factor* (MSF). Dan setelah harga SF didapatkan, langkah terakhir adalah menganalisa hasil tersebut, apakah SF yang didapatkan dari hasil perhitungan termasuk ke dalam kategori aman atau tidak.

#### 6. Perhitungan Penurunan Tanah (*Settlement*)

Setelah mengetahui nilai SF, ketika nilai  $SF \leq 1$ , maka akan mengalami *soil liquefaction*, sedangkan bila nilai  $SF > 1$ , maka tidak akan terjadi *soil liquefaction*. Setelah mengetahui tanah mengalami *soil liquefaction* maka akan dilakukan perhitungan penurunan tanah (*settlement*). Memperkirakan seberapa dalam penurunan tanah (*settlement*) yang akan terjadi, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut : (Jeng dan Seymour, 2007)

$$S_{total} = \sum_{bottom}^d S_{sat}$$

#### 7. Kesimpulan dan Saran

Langkah terakhir adalah membuat kesimpulan dari keseluruhan proses yang telah dilakukan sebelumnya serta memberikan jawaban atas permasalahan yang ada. Selanjutnya adalah memberikan saran berdasarkan hasil dari analisa untuk dijadikan dasar pada penelitian selanjutnya, baik terkait secara langsung pada Tugas Akhir ini ataupun pada data-data dan metodologi yang nantinya akan direferensi.

## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Daerah Studi**

Provinsi Papua Barat dengan luas wilayah secara keseluruhan sebesar 115.363,50 km<sup>2</sup> dan berpenduduk 2.851.999 orang. Secara geografis terletak pada 124° - 132° Bujur Timur dan 0° - 4° Lintang Selatan, tepat berada di bawah garis khatulistiwa dengan ketinggian 0-100 meter dari permukaan laut.

Daerah studi yang akan digunakan yaitu berada di Kabupaten Teluk Bintuni. Luas wilayah Kabupaten Teluk Bintuni adalah 18.114 km<sup>2</sup> atau meliputi 13,02% wilayah Provinsi Papua Barat. Kondisi topografi Kabupaten Teluk Bintuni 60% adalah dataran rendah dan 40% adalah bergelombang hingga pegunungan. Kawasan dataran rendah dengan kemiringan lahan relatif datar sampai landai terdapat di wilayah pesisir teluk dan kawasan sebelah barat yang berbatasan dengan Kabupaten Sorong.

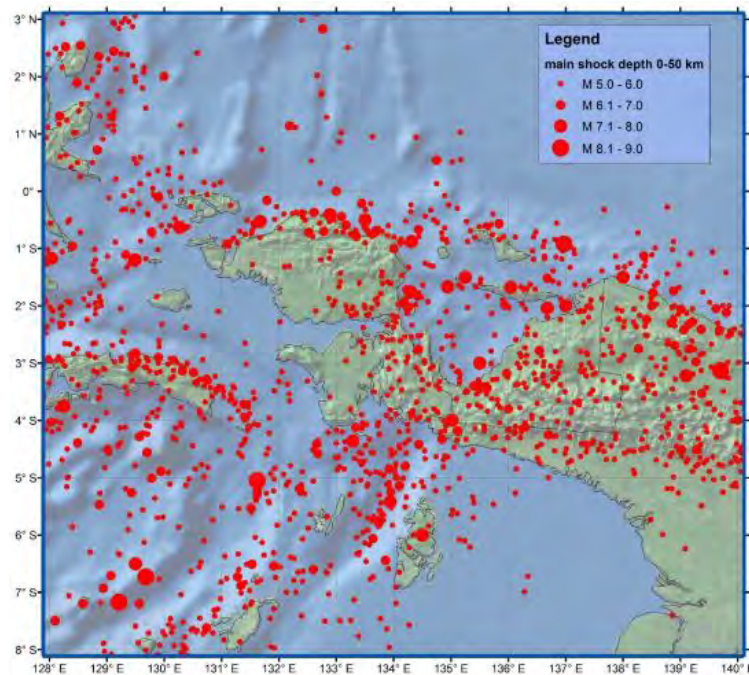


Gambar 4.1 Peta Lokasi Genting Oil Kasuri  
(Sumber: Kasuri PSC Project Overview)

## 4.2 Pengumpulan Data

### 4.2.1 Data Gempa

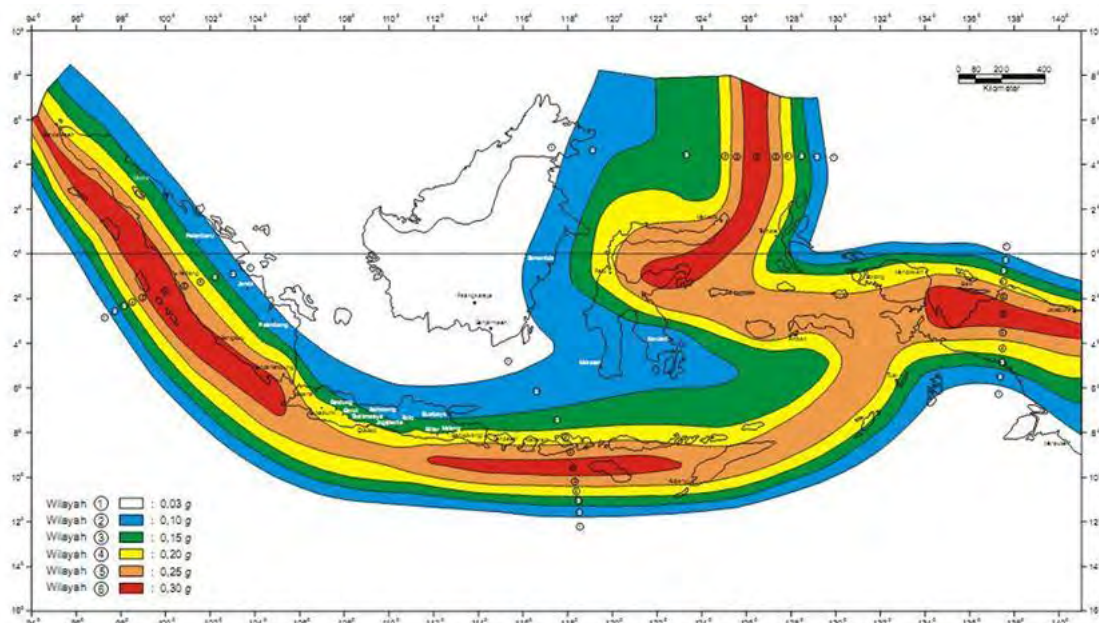
Pada Gambar 4.2 merupakan peta sebaran gempa yang pernah terjadi di Provinsi Papua Barat dan sekitarnya. dimulai dari tahun 1900 – 2010. Pada peta sebaran gempa tersebut dapat dilihat kekuatan gempa dengan magnitude ringan sampai dengan magnitude yang besar.



Gambar 4.2 Peta *Epicentres* Gempa Bumi dari Tahun 1900 – 2010

(Sumber: Kasuri PSC Project Overview)

Pada peta gempa Indonesia berdasarkan SNI 03-1726-2002 Indonesia ditetapkan terbagi dalam 6 wilayah gempa di mana wilayah gempa 1 adalah wilayah dengan kegempaan paling rendah dan wilayah gempa 6 dengan kegempaan paling tinggi. Peta gempa merupakan peta wilayah yang menunjukkan besaran percepatan tanah dasar (PGA). Pembagian wilayah gempa ini, didasarkan atas percepatan puncak batuan dasar yang nilai rata-ratanya untuk setiap wilayah gempa, dapat dilihat pada Gambar 4.3 dibawah.



Gambar 4.3 Peta percepatan gempa maksimum di batuan dasar (SB) Indonesia dalam SNI 03-1726-2002  
(sumber : BMKG Indonesia)

Berdasarkan peta percepatan puncak batuan dasar pada Gambar 4.3, maka dapat dihubungkan dengan sebaran gempa pada Gambar 4.2. Dapat diketahui bahwa Kabupaten Teluk Bintuni berada pada wilayah 5 & 6. Akan tetapi percepatan ini hanya pada batuan dasar saja. Kecepatan di permukaan tanah dapat berbeda sesuai jenis lapisan tanah seperti data pada tabel dibawah.

Tabel 4.1. Percepatan puncak sesuai dengan pembagian wilayah gempa  
(sumber : BMKG Indonesia)

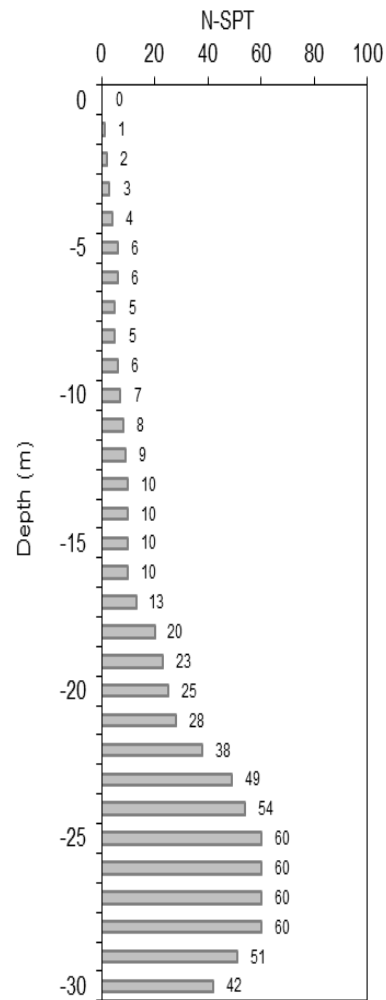
Wilayah Gempa	Percepatan Puncak Batuan Dasar (g)	Percepatan Puncak Muka Tanah $A_0$ (g)				Z
		Tanah Keras	Tanah Sedang	Tanah Lunak	Tanah Khusus	
1	0.03	0.04	0.05	0.08	Diperlukan evaluasi khusus disetiap lokasi	2.6
2	0.10	0.12	0.15	0.20		1.8
3	0.15	0.18	0.23	0.30		1.4
4	0.20	0.24	0.28	0.34		1.0
5	0.25	0.28	0.32	0.36		0.6
6	0.30	0.33	0.36	0.38		0.0

Tabel 4.1 menunjukkan untuk percepatan puncak muka tanah ( $A_0$ ) memiliki nilai yang berbeda pada setiap jenis tanah dan wilayah gempa. Pada jenis tanah lunak memiliki percepatan puncak tanah ( $A_0$ ) yang lebih besar dibandingkan jenis tanah lainnya.

#### **4.2.2 Data Tanah dan $N_{SPT}$**

Data yang diperoleh hanya sebatas data tanah dan  $N_{SPT}$ , akan tetapi data – data tersebut dapat diolah untuk mencari nilai yang diperlukan. Tipe tanah yang digunakan adalah mud, clayey silt, sandy clayey silt, clayey sandy silt, clayey silt sand dan gravelly sandy clayey sand. Data tanah dapat dilihat didalam (Lampiran A) yang akan dilampirkan dan nilai  $N_{SPT}$  setiap kedalaman dapat dilihat pada Tabel 4.1. Setelah kita mendapatkan massa jenis tanah kita dapat melanjutkan perhitungan.

Tabel 4.1 Nilai  $N_{SPT}$  Dalam Setiap Kedalaman



Depth (m)	$N_{SPT}$
0.0	-
-1.0	1
-2.0	2
-3.0	3
-4.0	4
-5.0	6
-6.0	6
-7.0	5
-8.0	5
-9.0	6
-10.0	7
-11.0	8
-12.0	9
-13.0	10
-14.0	10
-15.0	10
-16.0	10
-17.0	13
-18.0	20
-19.0	23
-20.0	25
-21.0	28
-22.0	38
-23.0	49
-24.0	54
-25.0	60
-26.0	60
-27.0	60
-28.0	60
-29.0	51
-30.0	42

### 4.3 Identifikasi Bahaya

Bahaya yang diperkirakan akan terjadi di daerah studi adalah terjadinya *settlement* (penurunan tanah) secara tiba – tiba yang disebabkan oleh *soil liquefaction*. Identifikasi dilakukan sampai kedalaman 30 m.

Identifikasi terhadap bahaya ini terlebih dahulu dilakukan dengan cara mengestimasi CRR dan CSR berdasarkan data tanah yang telah diperoleh. Setelah diketahui harga CRR dan CSR untuk masing – masing lokasi, langkah berikutnya adalah menghitung MSFs, langkah berikutnya menghitung *Safety Factor* (SF) dengan menggunakan persamaan (2.15). Bila  $SF > 1$ , maka dapat dipastikan tanah di daerah studi tidak akan mengalami *soil liquefaction* dan untuk bahaya *settlement* (penurunan tanah) secara tiba – tiba dipastikan tidak akan terjadi pula. Namun bila  $SF \leq 1$ , maka daerah tersebut akan mengalami fenomena *soil liquefaction* dan kemungkinan terjadinya *settlement* secara tiba – tiba akan terjadi.

### 4.4 Analisa dan Pembahasan

#### 4.4.1 Perhitungan nilai SF (Safety Factor)

Setelah didapatkan harga parameter-parameter CRR dan CSR (terlampir), berikutnya adalah estimasi SF dengan menggunakan persamaan (2.15). SF merupakan parameter terpenting dan mutlak yang harus diperhitungkan dalam proses identifikasi bahaya yang disebabkan oleh proses *soil liquefaction*.

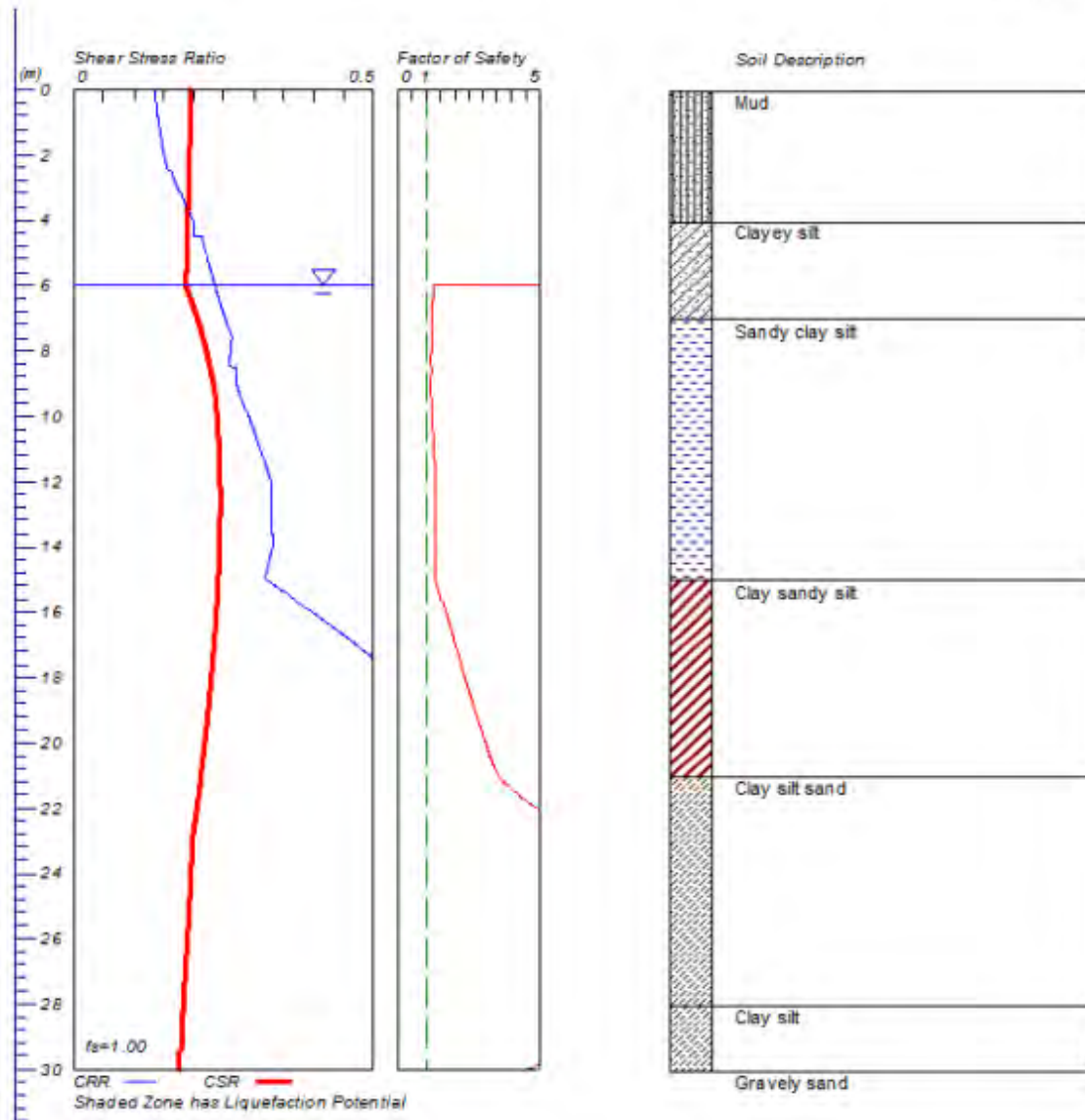
Pada Gambar 4.4 sampai Gambar 4.7 merupakan grafik kedalaman terjadinya *soil liquefaction* pada masing – masing besaran *magnitude*. Hasil perhitungan SF selengkapnya ditunjukkan pada Tabel 4.1 sampai Tabel 4.5 dan dapat diketahui bahwa harga SF untuk *magnitude* 5 ditemukan nilai  $SF > 1$ . Nilai SF pada *magnitude* 5 adalah 5 di hampir setiap kedalaman. Akan tetapi pada variasi gempa yang lain ditemukan nilai  $SF < 1$  yang berarti diindikasikan terjadi *soil liquefaction*. Pada *magnitude* 6 *soil liquefaction* dimulai dari kedalaman 6 m nilai SF terkecil adalah 0.72. *Magnitude* 6.5 *soil liquefaction* dimulai dari kedalaman 6 m nilai SF terkecil adalah 0.59. *Magnitude* 7 *soil liquefaction* dimulai dari kedalaman 6 m nilai SF terkecil adalah 0.49. Dan pada *magnitude* 7.5 *soil liquefaction* dimulai dari kedalaman 6 m nilai SF terkecil adalah 41.



# LIQUEFACTION ANALYSIS

Hole No.=BH-4 Water Depth=6 m Surface Elev.=0

Magnitude=5  
Acceleration=0.3g

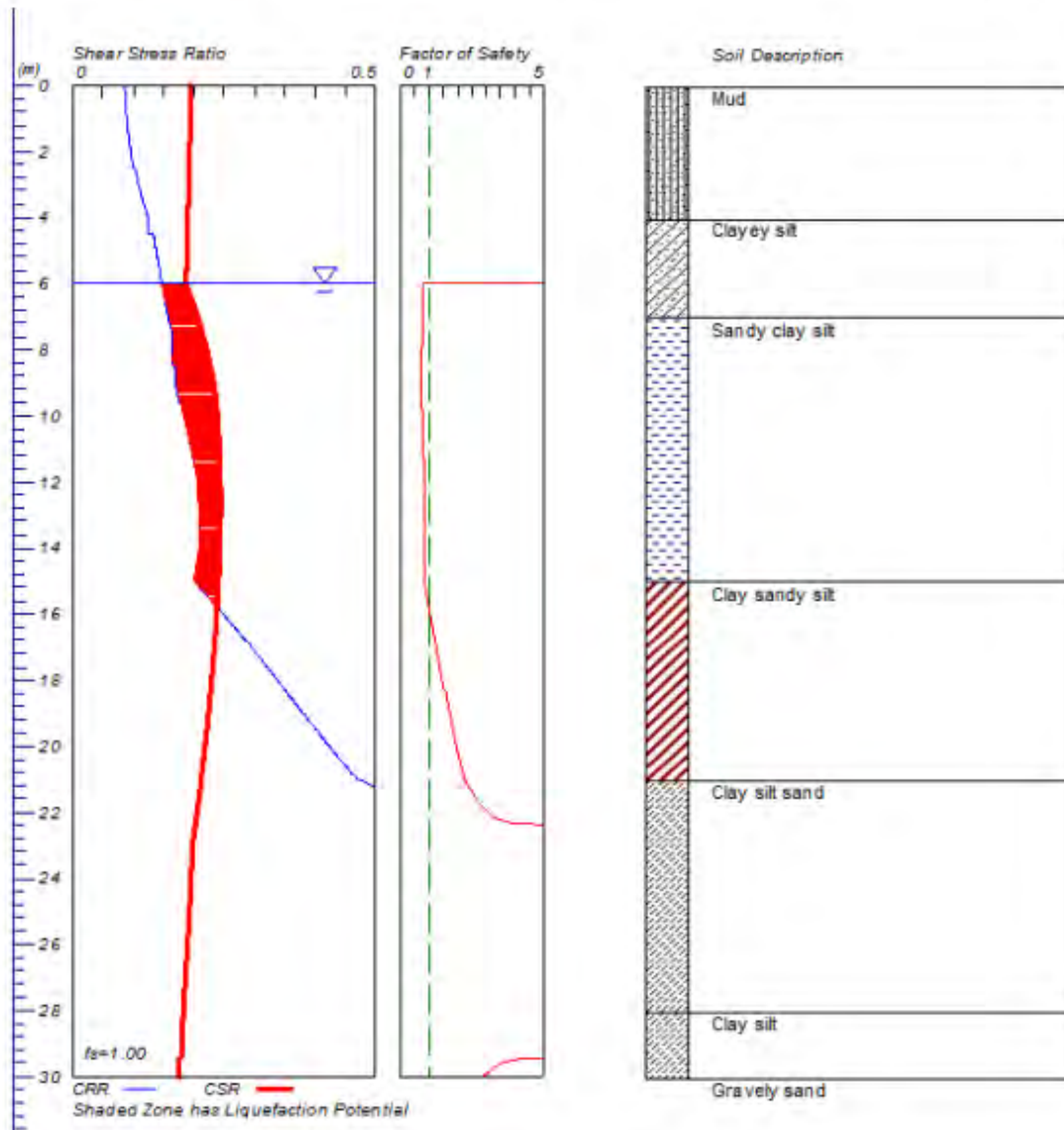


Gambar 4.4 Grafik SF (safety factor) pada magnitude 5

# LIQUEFACTION ANALYSIS

Hole No.=BH-4 Water Depth=6 m Surface Elev.=0

Magnitude=6  
Acceleration=0.3g

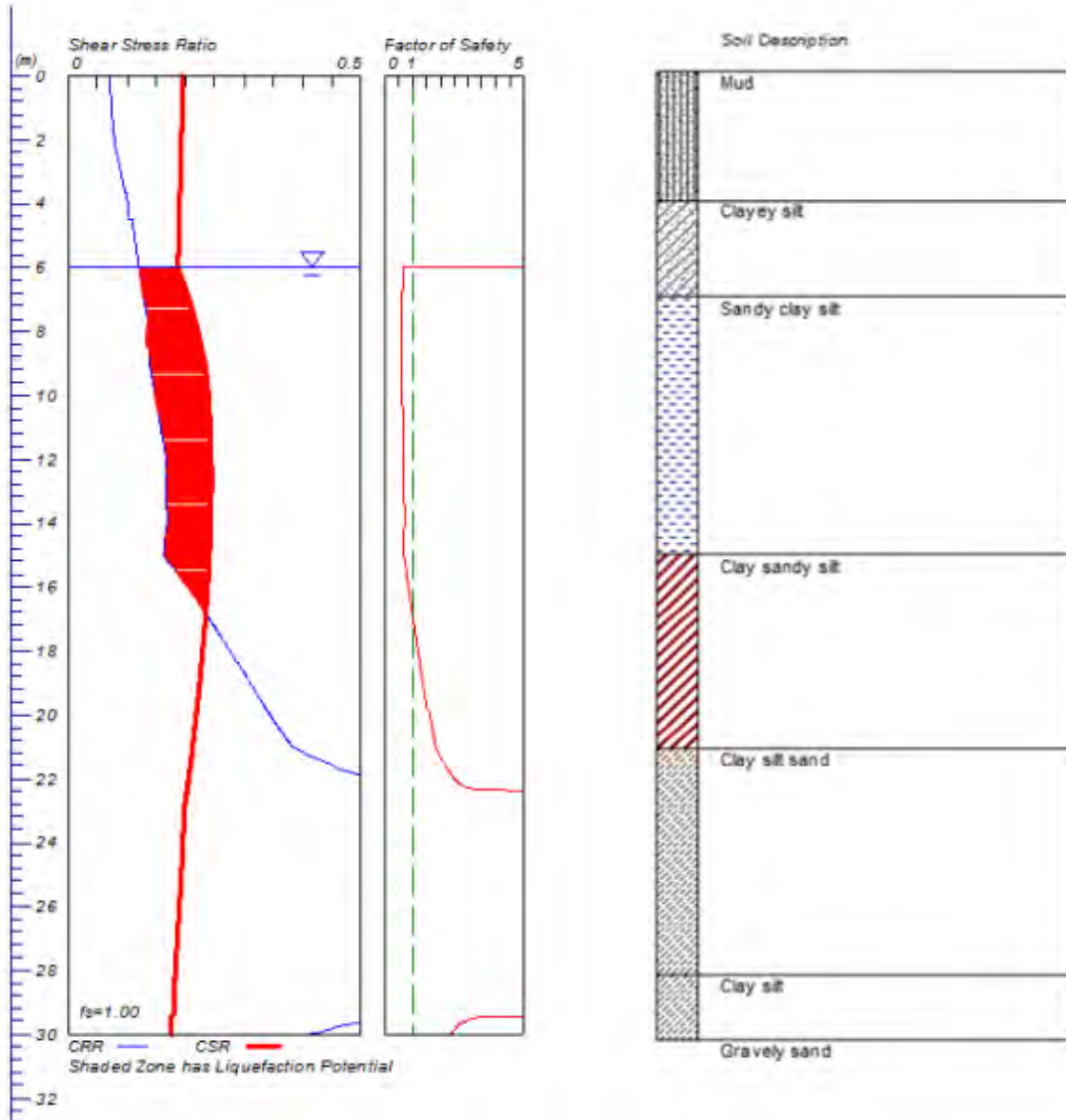


Gambar 4.5 Grafik SF (safety factor) pada magnitude 6

# LIQUEFACTION ANALYSIS

Hole No.=BH-4 Water Depth=6 m Surface Elev.=0

Magnitude=6.5  
Acceleration=0.3g

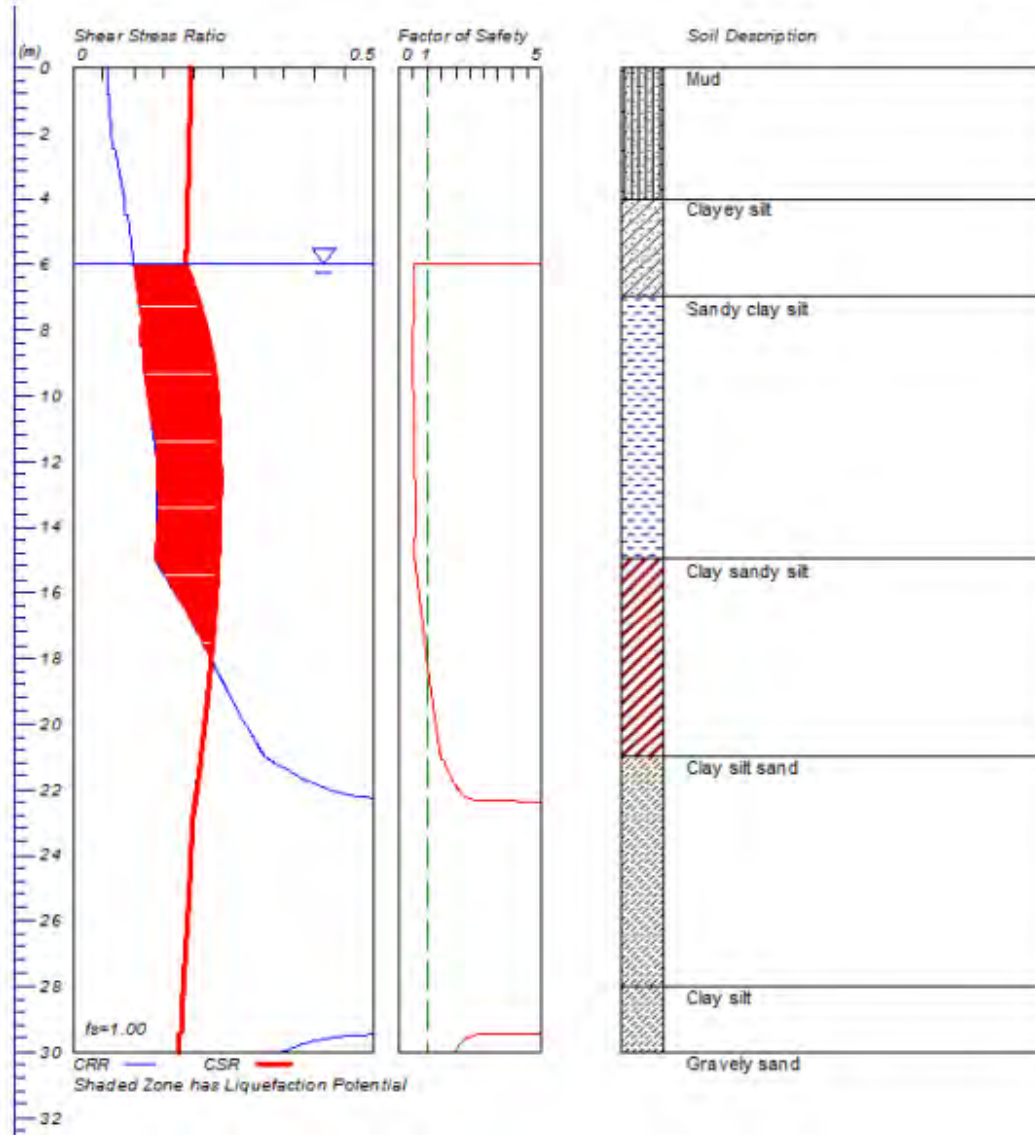


Gambar 4.6 Grafik SF (safety factor) pada magnitude 6.5

# LIQUEFACTION ANALYSIS

Hole No.=BH-4 Water Depth=6 m Surface Elev.=0

Magnitude=7  
Acceleration=0.3g

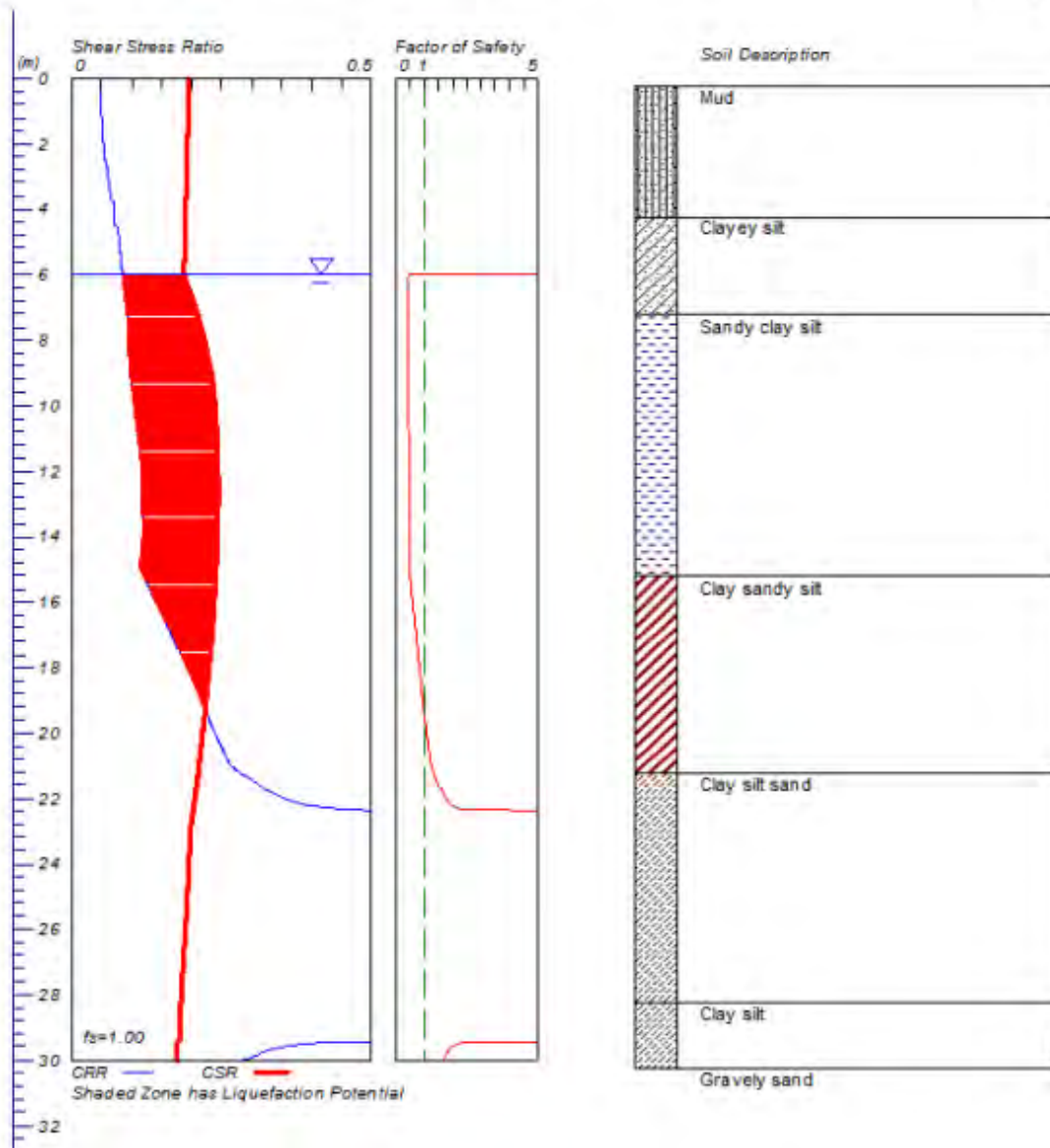


Gambar 4.7 Grafik SF (safety factor) pada magnitude 7

# LIQUEFACTION ANALYSIS

Hole No.=BH-4 Water Depth=6 m Surface Elev.=0

Magnitude=7.5  
Acceleration=0.3g



Gambar 4.8 Grafik SF (safety factor) pada magnitude 7.5

Tabel 4.3 Nilai SF Magnitude 5

Depth (m)	CRR	CSR	SF	KATEGORI
0	0.14	0.2	5	No Liquefaction
1	0.14	0.19	5	No Liquefaction
2	0.15	0.19	5	No Liquefaction
3	0.17	0.19	5	No Liquefaction
4	0.2	0.19	5	No Liquefaction
5	0.22	0.19	5	No Liquefaction
6	0.24	0.19	1.27	No Liquefaction
7	0.25	0.21	1.23	No Liquefaction
8	0.26	0.22	1.19	No Liquefaction
9	0.27	0.23	1.16	No Liquefaction
10	0.29	0.24	1.22	No Liquefaction
11	0.31	0.24	1.28	No Liquefaction
12	0.33	0.24	1.35	No Liquefaction
13	0.33	0.24	1.35	No Liquefaction
14	0.33	0.24	1.36	No Liquefaction
15	0.32	0.24	1.32	No Liquefaction
16	0.4	0.24	1.67	No Liquefaction
17	0.47	0.23	2.01	No Liquefaction
18	0.54	0.23	2.35	No Liquefaction
19	0.61	0.22	2.71	No Liquefaction
20	0.68	0.22	3.09	No Liquefaction
21	0.75	0.21	3.54	No Liquefaction
22	1.01	0.2	4.92	No Liquefaction
23	5.67	0.2	5	No Liquefaction
24	5.61	0.19	5	No Liquefaction
25	5.54	0.19	5	No Liquefaction
26	5.46	0.19	5	No Liquefaction
27	5.38	0.19	5	No Liquefaction
28	5.3	0.18	5	No Liquefaction
29	5.24	0.18	5	No Liquefaction
30	0.81	0.18	4.61	No Liquefaction

Tabel 4.4 Nilai SF Magnitude 6

Depth (m)	CRR	CSR	SF	KATEGORI
0	0.08	0.2	5	Non Liquefaction
1	0.09	0.19	5	Non Liquefaction
2	0.1	0.19	5	Non Liquefaction
3	0.11	0.19	5	Non Liquefaction
4	0.12	0.19	5	Non Liquefaction
5	0.14	0.19	5	Non Liquefaction
6	0.15	0.19	0.79 *	Terjadi Liquefaction
7	0.16	0.21	0.77 *	Terjadi Liquefaction
8	0.16	0.22	0.75 *	Terjadi Liquefaction
9	0.17	0.23	0.73 *	Terjadi Liquefaction
10	0.18	0.24	0.76 *	Terjadi Liquefaction
11	0.19	0.24	0.80 *	Terjadi Liquefaction
12	0.21	0.24	0.85 *	Terjadi Liquefaction
13	0.21	0.24	0.85 *	Terjadi Liquefaction
14	0.21	0.24	0.86 *	Terjadi Liquefaction
15	0.2	0.24	0.83 *	Terjadi Liquefaction
16	0.25	0.24	1.05	Non Liquefaction
17	0.3	0.23	1.26	Non Liquefaction
18	0.34	0.23	1.48	Non Liquefaction
19	0.38	0.22	1.7	Non Liquefaction
20	0.42	0.22	1.94	Non Liquefaction
21	0.47	0.21	2.22	Non Liquefaction
22	0.63	0.2	3.09	Non Liquefaction
23	3.56	0.2	5	Non Liquefaction
24	3.52	0.19	5	Non Liquefaction
25	3.47	0.19	5	Non Liquefaction
26	3.42	0.19	5	Non Liquefaction
27	3.37	0.19	5	Non Liquefaction
28	3.33	0.18	5	Non Liquefaction
29	3.29	0.18	5	Non Liquefaction
30	0.51	0.18	2.89	Non Liquefaction

Tabel 4.5 Nilai SF Magnitude 6.5

Depth (m)	CRR	CSR	SF	KATEGORI
0	0.07	0.2	5	Non Liquefaction
1	0.07	0.19	5	Non Liquefaction
2	0.08	0.19	5	Non Liquefaction
3	0.09	0.19	5	Non Liquefaction
4	0.1	0.19	5	Non Liquefaction
5	0.11	0.19	5	Non Liquefaction
6	0.12	0.19	0.65 *	Terjadi Liquefaction
7	0.13	0.21	0.63 *	Terjadi Liquefaction
8	0.13	0.22	0.61 *	Terjadi Liquefaction
9	0.14	0.23	0.59 *	Terjadi Liquefaction
10	0.15	0.24	0.62 *	Terjadi Liquefaction
11	0.16	0.24	0.65 *	Terjadi Liquefaction
12	0.17	0.24	0.69 *	Terjadi Liquefaction
13	0.17	0.24	0.69 *	Terjadi Liquefaction
14	0.17	0.24	0.70 *	Terjadi Liquefaction
15	0.16	0.24	0.67 *	Terjadi Liquefaction
16	0.2	0.24	0.85 *	Terjadi Liquefaction
17	0.24	0.23	1.03	Non Liquefaction
18	0.28	0.23	1.2	Non Liquefaction
19	0.31	0.22	1.38	Non Liquefaction
20	0.34	0.22	1.58	Non Liquefaction
21	0.38	0.21	1.81	Non Liquefaction
22	0.52	0.2	2.51	Non Liquefaction
23	2.9	0.2	5	Non Liquefaction
24	2.86	0.19	5	Non Liquefaction
25	2.83	0.19	5	Non Liquefaction
26	2.79	0.19	5	Non Liquefaction
27	2.75	0.19	5	Non Liquefaction
28	2.71	0.18	5	Non Liquefaction
29	2.68	0.18	5	Non Liquefaction
30	0.42	0.18	2.35	Non Liquefaction



Tabel 4.6 Nilai SF Magnitude 7

Depth (m)	CRR	CSR	SF	KATEGORI
0	0.06	0.2	5	Non Liquefaction
1	0.06	0.19	5	Non Liquefaction
2	0.06	0.19	5	Non Liquefaction
3	0.07	0.19	5	Non Liquefaction
4	0.08	0.19	5	Non Liquefaction
5	0.09	0.19	5	Non Liquefaction
6	0.1	0.19	0.54 *	Terjadi Liquefaction
7	0.11	0.21	0.52 *	Terjadi Liquefaction
8	0.11	0.22	0.50 *	Terjadi Liquefaction
9	0.11	0.23	0.49 *	Terjadi Liquefaction
10	0.12	0.24	0.51 *	Terjadi Liquefaction
11	0.13	0.24	0.54 *	Terjadi Liquefaction
12	0.14	0.24	0.57 *	Terjadi Liquefaction
13	0.14	0.24	0.57 *	Terjadi Liquefaction
14	0.14	0.24	0.58 *	Terjadi Liquefaction
15	0.13	0.24	0.56 *	Terjadi Liquefaction
16	0.17	0.24	0.71 *	Terjadi Liquefaction
17	0.2	0.23	0.85 *	Terjadi Liquefaction
18	0.23	0.23	0.99 *	Terjadi Liquefaction
19	0.26	0.22	1.14	Non Liquefaction
20	0.29	0.22	1.31	Non Liquefaction
21	0.32	0.21	1.49	Non Liquefaction
22	0.43	0.2	2.08	Non Liquefaction
23	2.4	0.2	5	Non Liquefaction
24	2.37	0.19	5	Non Liquefaction
25	2.34	0.19	5	Non Liquefaction
26	2.31	0.19	5	Non Liquefaction
27	2.27	0.19	5	Non Liquefaction
28	2.24	0.18	5	Non Liquefaction
29	2.22	0.18	5	Non Liquefaction
30	0.34	0.18	1.95	Non Liquefaction

Tabel 4.7 Nilai SF Magnitude 7.5

Depth (m)	CRR	CSR	SF	KATEGORI
0	0.05	0.2	5	Non Liquefaction
1	0.05	0.19	5	Non Liquefaction
2	0.05	0.19	5	Non Liquefaction
3	0.06	0.19	5	Non Liquefaction
4	0.07	0.19	5	Non Liquefaction
5	0.08	0.19	5	Non Liquefaction
6	0.08	0.19	0.45 *	Terjadi Liquefaction
7	0.09	0.21	0.44 *	Terjadi Liquefaction
8	0.09	0.22	0.42 *	Terjadi Liquefaction
9	0.1	0.23	0.41 *	Terjadi Liquefaction
10	0.1	0.24	0.43 *	Terjadi Liquefaction
11	0.11	0.24	0.45 *	Terjadi Liquefaction
12	0.12	0.24	0.48 *	Terjadi Liquefaction
13	0.12	0.24	0.48 *	Terjadi Liquefaction
14	0.12	0.24	0.48 *	Terjadi Liquefaction
15	0.11	0.24	0.47 *	Terjadi Liquefaction
16	0.14	0.24	0.59 *	Terjadi Liquefaction
17	0.17	0.23	0.71 *	Terjadi Liquefaction
18	0.19	0.23	0.83 *	Terjadi Liquefaction
19	0.21	0.22	0.96 *	Terjadi Liquefaction
20	0.24	0.22	1.1	Non Liquefaction
21	0.27	0.21	1.25	Non Liquefaction
22	0.36	0.2	1.74	Non Liquefaction
23	2.01	0.2	5	Non Liquefaction
24	1.99	0.19	5	Non Liquefaction
25	1.96	0.19	5	Non Liquefaction
26	1.93	0.19	5	Non Liquefaction
27	1.91	0.19	5	Non Liquefaction
28	1.88	0.18	5	Non Liquefaction
29	1.86	0.18	5	Non Liquefaction
30	0.29	0.18	1.63	Non Liquefaction

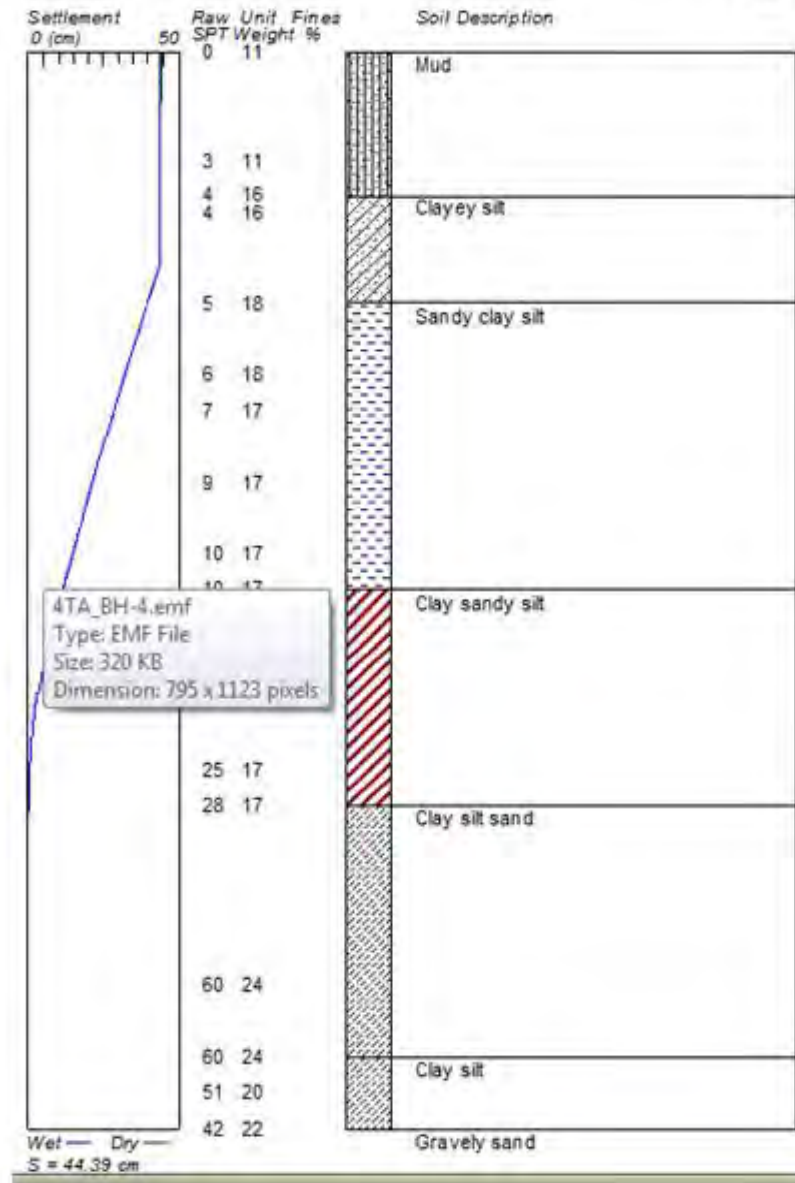
#### 4.4.2 Perhitungan Penurunan Tanah (*Settlement*)

Dengan terjadinya *soil liquefaction* dengan  $SF < 1$  pada *magnitude* 6 mulai kedalam 6 meter maka daerah studi Genting Oil Katsuri akan mengalami penurunan tanah (*settlement*). Dengan menambah kedalaman *settlement dry sand* dengan kedalaman *saturated sand*, maka kita dapat menghitung kedalaman total *settlement* menggunakan persamaan (2.15), selanjutnya akan didapat perkiraan penurunan tanah (*settlement*). Dapat dilihat pada Gambar 4.9 sampai Gambar 4.12 untuk grafik kedalaman penurunan tanah (*settlement*). Untuk perhitungan penurunan tanah (*settlement*) dapat dilihat pada Tabel 4.6 sampai Tabel 4.9. Gambar 4.13 merupakan grafik ke dalaman dari gabungan penurunan tanah (*settlement*). Dengan variasi gempa, penurunan tanah yang paling besar terjadi pada *magnitude* 7,5 sebesar 44,38 meter, *magnitude* 7 sebesar 41,95 meter, *magnitude* 6,5 sebesar 39,15 meter dan *magnitude* 6 sebesar 35,91 meter.

# LIQUEFACTION ANALYSIS

Hole No.=BH-4 Water Depth=6 m Surface Elev.=0

Magnitude=7.5  
Acceleration=0.3g

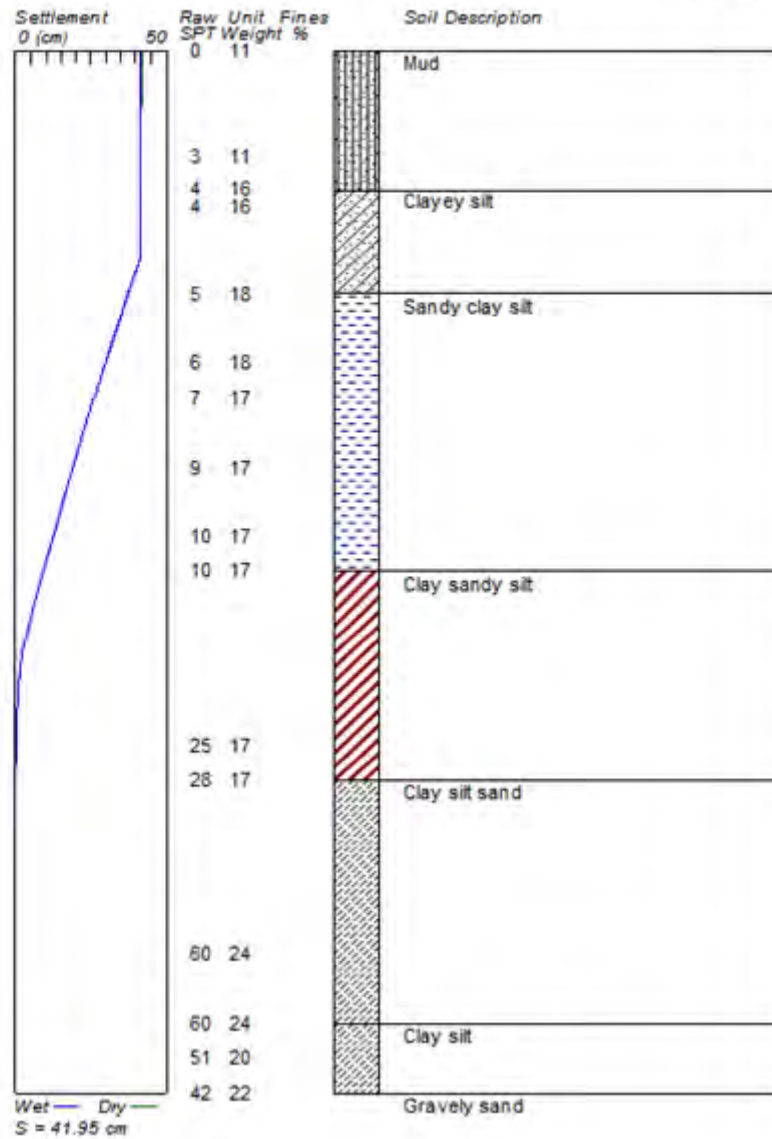


Gambar 4.9 Grafik penurunan tanah (*settlement*) pada *magnitude* 7.5

# LIQUEFACTION ANALYSIS

Hole No.=BH-4 Water Depth=6 m Surface Elev.=0

Magnitude=7  
Acceleration=0.3g

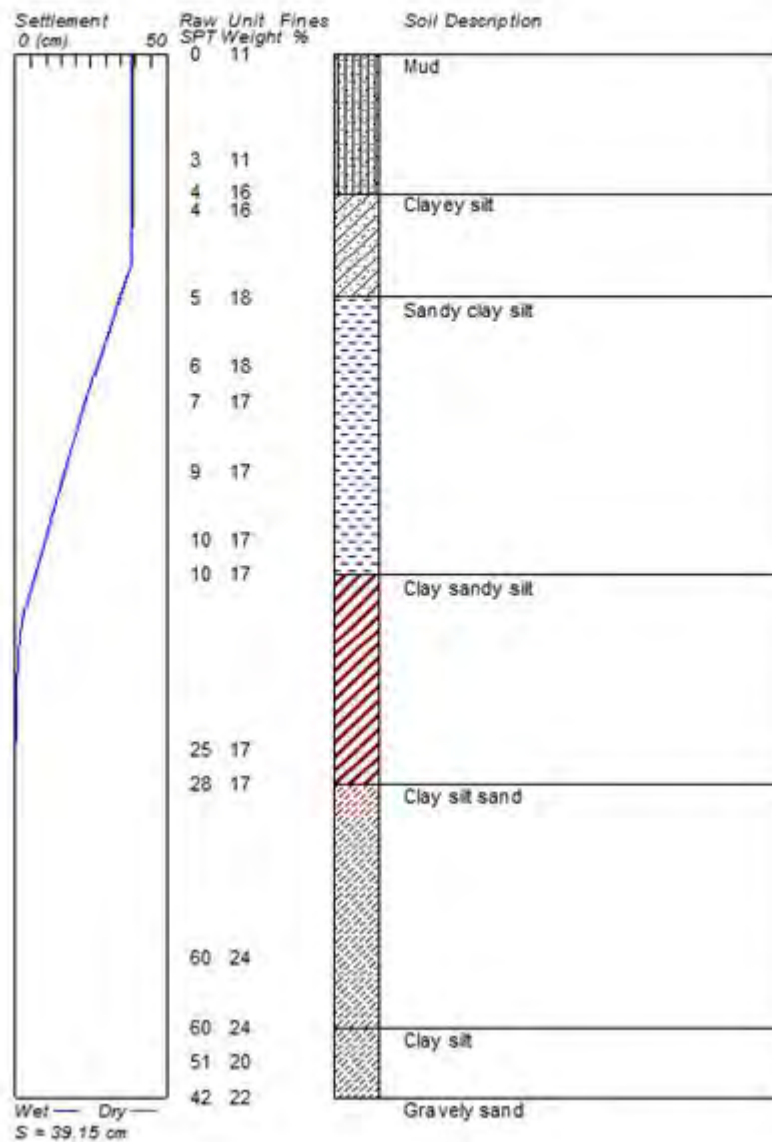


Gambar 4.10 Grafik penurunan tanah (*settlement*) pada *magnitude* 7

# LIQUEFACTION ANALYSIS

Hole No.=BH-4 Water Depth=6 m Surface Elev.=0

Magnitude=6.5  
Acceleration=0.3g

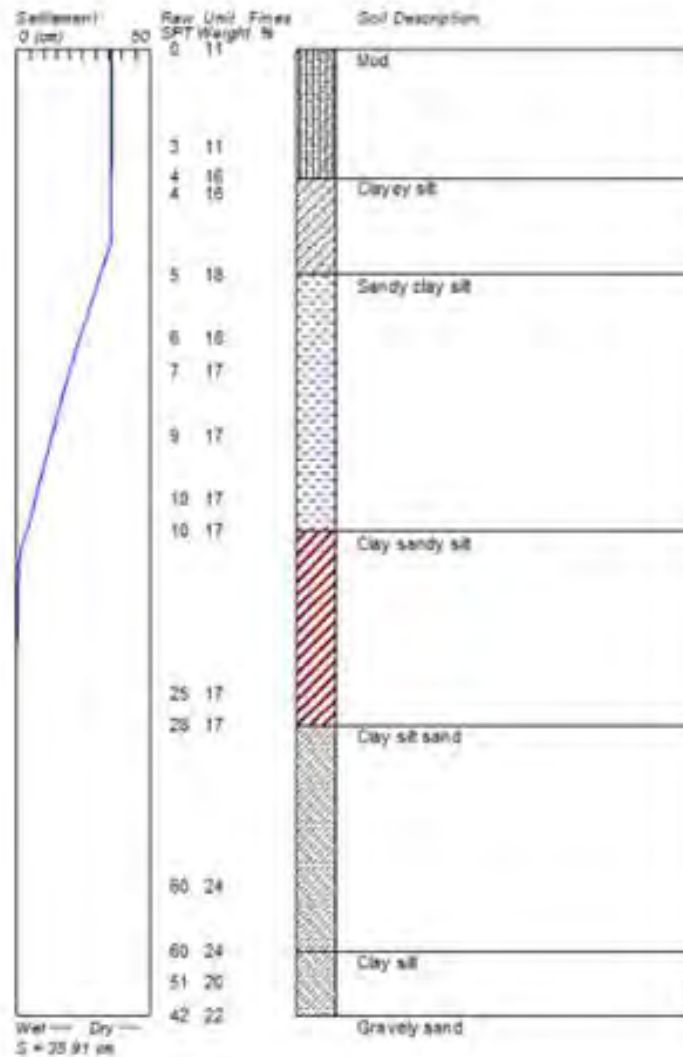


Gambar 4.11 Grafik penurunan tanah (*settlement*) pada *magnitude* 6.5

# LIQUEFACTION ANALYSIS

Hole No.=BH-4 Water Depth=6 m Surface Elev.=0

Magnitude=6  
Acceleration=0.3g



Gambar 4.12 Grafik penurunan tanah (*settlement*) pada *magnitude* 6

Tabel 4.8 Perhitungan Penurunan Tanah (*Settlement*) *Magnitude 6*

Depth (m)	CRR	CSR	F.S.	S <sub>sat.</sub> (cm)	S <sub>dry</sub> (cm)	S <sub>all</sub> (cm)
0	0.08	0.2	5	35.54	0.37	35.91
1	0.09	0.19	5	35.54	0.34	35.87
2	0.1	0.19	5	35.54	0.29	35.82
3	0.11	0.19	5	35.54	0.23	35.77
4	0.12	0.19	5	35.54	0.17	35.71
5	0.14	0.19	5	35.54	0.09	35.63
6	0.15	0.19	0.79*	35.54	0	35.54
7	0.16	0.21	0.77*	31.49	0	31.49
8	0.16	0.22	0.75*	27.62	0	27.62
9	0.17	0.23	0.73*	23.81	0	23.81
10	0.18	0.24	0.76*	20.13	0	20.13
11	0.19	0.24	0.80*	16.61	0	16.61
12	0.21	0.24	0.85*	13.24	0	13.24
13	0.21	0.24	0.85*	9.98	0	9.98
14	0.21	0.24	0.86*	6.75	0	6.75
15	0.2	0.24	0.83*	3.45	0	3.45
16	0.25	0.24	1.05	1.2	0	1.2
17	0.3	0.23	1.26	0.58	0	0.58
18	0.34	0.23	1.48	0.27	0	0.27
19	0.38	0.22	1.7	0.08	0	0.08
20	0.42	0.22	1.94	0	0	0
21	0.47	0.21	2.22	0	0	0
22	0.63	0.2	3.09	0	0	0
23	3.56	0.2	5	0	0	0
24	3.52	0.19	5	0	0	0
25	3.47	0.19	5	0	0	0
26	3.42	0.19	5	0	0	0
27	3.37	0.19	5	0	0	0
28	3.33	0.18	5	0	0	0
29	3.29	0.18	5	0	0	0
30	0.51	0.18	2.89	0	0	0



Tabel 4.9 Perhitungan Penurunan Tanah (*Settlement*) *Magnitude 6.5*

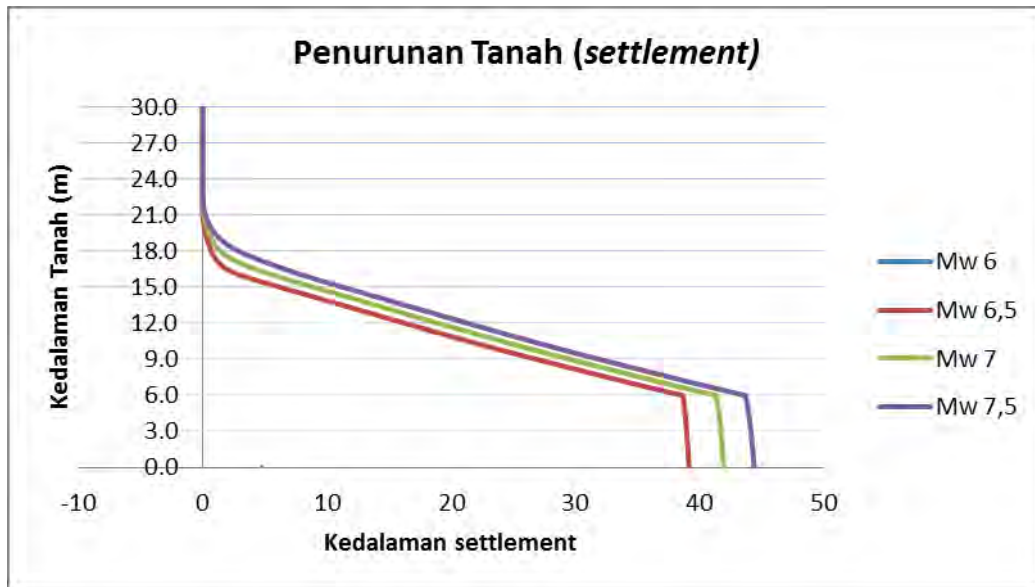
Depth (m)	CRR	CSR	F.S.	S_sat. (cm)	S_dry (cm)	S_all (cm)
0	0.07	0.2	5	38.66	0.49	39.15
1	0.07	0.19	5	38.66	0.44	39.1
2	0.08	0.19	5	38.66	0.38	39.04
3	0.09	0.19	5	38.66	0.31	38.97
4	0.1	0.19	5	38.66	0.23	38.89
5	0.11	0.19	5	38.66	0.12	38.78
6	0.12	0.19	0.65*	38.66	0	38.66
7	0.13	0.21	0.63*	34.62	0	34.62
8	0.13	0.22	0.61*	30.75	0	30.75
9	0.14	0.23	0.59*	26.94	0	26.94
10	0.15	0.24	0.62*	23.25	0	23.25
11	0.16	0.24	0.65*	19.73	0	19.73
12	0.17	0.24	0.69*	16.33	0	16.33
13	0.17	0.24	0.69*	12.98	0	12.98
14	0.17	0.24	0.70*	9.64	0	9.64
15	0.16	0.24	0.67*	6.27	0	6.27
16	0.2	0.24	0.85*	3.11	0	3.11
17	0.24	0.23	1.03	1.36	0	1.36
18	0.28	0.23	1.2	0.71	0	0.71
19	0.31	0.22	1.38	0.36	0	0.36
20	0.34	0.22	1.58	0.14	0	0.14
21	0.38	0.21	1.81	0.01	0	0.01
22	0.52	0.2	2.51	0	0	0
23	2.9	0.2	5	0	0	0
24	2.86	0.19	5	0	0	0
25	2.83	0.19	5	0	0	0
26	2.79	0.19	5	0	0	0
27	2.75	0.19	5	0	0	0
28	2.71	0.18	5	0	0	0
29	2.68	0.18	5	0	0	0
30	0.42	0.18	2.35	0	0	0

Tabel 4.10 Perhitungan Penurunan Tanah (*Settlement*) *Magnitude 7*

Depth (m)	CRR	CSR	F.S.	S_sat. (cm)	S_dry (cm)	S_all (cm)
0	0.06	0.2	5	41.36	0.59	41.95
1	0.06	0.19	5	41.36	0.53	41.89
2	0.06	0.19	5	41.36	0.46	41.82
3	0.07	0.19	5	41.36	0.37	41.73
4	0.08	0.19	5	41.36	0.27	41.64
5	0.09	0.19	5	41.36	0.15	41.51
6	0.1	0.19	0.54*	41.36	0	41.36
7	0.11	0.21	0.52*	37.32	0	37.32
8	0.11	0.22	0.50*	33.45	0	33.45
9	0.11	0.23	0.49*	29.64	0	29.64
10	0.12	0.24	0.51*	25.95	0	25.95
11	0.13	0.24	0.54*	22.43	0	22.43
12	0.14	0.24	0.57*	19.03	0	19.03
13	0.14	0.24	0.57*	15.68	0	15.68
14	0.14	0.24	0.58*	12.34	0	12.34
15	0.13	0.24	0.56*	8.97	0	8.97
16	0.17	0.24	0.71*	5.76	0	5.76
17	0.2	0.23	0.85*	3.03	0	3.03
18	0.23	0.23	0.99*	1.44	0	1.44
19	0.26	0.22	1.14	0.72	0	0.72
20	0.29	0.22	1.31	0.33	0	0.33
21	0.32	0.21	1.49	0.09	0	0.09
22	0.43	0.2	2.08	0	0	0
23	2.4	0.2	5	0	0	0
24	2.37	0.19	5	0	0	0
25	2.34	0.19	5	0	0	0
26	2.31	0.19	5	0	0	0
27	2.27	0.19	5	0	0	0
28	2.24	0.18	5	0	0	0
29	2.22	0.18	5	0	0	0
30	0.34	0.18	1.95	0	0	0

Tabel 4.11 Perhitungan Penurunan Tanah (*Settlement*) *Magnitude 7.5*

Depth (m)	CRR	CSR	F.S.	S_sat. (cm)	S_dry (cm)	S_all (cm)
0	0.05	0.2	5	43.72	0.67	44.39
1	0.05	0.19	5	43.72	0.61	44.33
2	0.05	0.19	5	43.72	0.52	44.24
3	0.06	0.19	5	43.72	0.42	44.14
4	0.07	0.19	5	43.72	0.31	44.04
5	0.08	0.19	5	43.72	0.17	43.89
6	0.08	0.19	0.45*	43.72	0	43.72
7	0.09	0.21	0.44*	39.68	0	39.68
8	0.09	0.22	0.42*	35.81	0	35.81
9	0.1	0.23	0.41*	32	0	32
10	0.1	0.24	0.43*	28.32	0	28.32
11	0.11	0.24	0.45*	24.8	0	24.8
12	0.12	0.24	0.48*	21.39	0	21.39
13	0.12	0.24	0.48*	18.04	0	18.04
14	0.12	0.24	0.48*	14.7	0	14.7
15	0.11	0.24	0.47*	11.33	0	11.33
16	0.14	0.24	0.59*	8.12	0	8.12
17	0.17	0.23	0.71*	5.3	0	5.3
18	0.19	0.23	0.83*	2.92	0	2.92
19	0.21	0.22	0.96*	1.43	0	1.43
20	0.24	0.22	1.1	0.66	0	0.66
21	0.27	0.21	1.25	0.23	0	0.23
22	0.36	0.2	1.74	0.04	0	0.04
23	2.01	0.2	5	0.03	0	0.03
24	1.99	0.19	5	0.03	0	0.03
25	1.96	0.19	5	0.03	0	0.03
26	1.93	0.19	5	0.03	0	0.03
27	1.91	0.19	5	0.03	0	0.03
28	1.88	0.18	5	0.03	0	0.03
29	1.86	0.18	5	0.03	0	0.03
30	0.29	0.18	1.63	0	0	0



Gambar 4.13 Grafik gabungan penurunan tanah keseluruhan

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari analisis yang telah dilakukan pada Bab IV, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan perhitungan *safety factor* untuk semua variasi gempa bumi dimulai dari *magnitude* 5; 6; 6,5; 7 dan 7,5 dapat disimpulkan bahwa pada saat terjadi gempa dengan *magnitude* 5 di daerah studi Genting Oil Katsuri tidak terjadi kemungkinan *Soil Liquefaction*.
2. *Soil Liquefaction* di daerah studi Genting Oil Katsuri akan terjadi dimulai dari *magnitude* 6 dengan  $FS > 1$ . Nilai *safety factor* terkecil 0,441 m. *Soil liquefaction* dimulai pada kedalaman 6 m.
3. Berdasarkan perhitungan  $SF < 1$ , maka di daerah studi Genting Oil Katsuri akan mengalami *settlement* dengan kemungkinan kedalaman sebesar pada  $M_w 6 = 35,91$  cm;  $M_w 6,5 = 39,15$  cm;  $M_w 7 = 41,95$  cm; dan  $M_w 7,5 = 44,39$  cm.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan uraian Tugas Akhir dan pembahasan pada bab- bab sebelumnya, maka saran yang penulis sampaikan adalah sebagai berikut:

1. Perlu ada penelitian yang lebih mendalam mengenai *soil liquefaction* terhadap ancaman kegagalan dengan variabel lain yang lebih komplit.
2. Perlu dipertimbangkan untuk membangun struktur *jetty* pada daerah tersebut.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR PUSTAKA

- Aydin, A and Beroya M. “Seismic hazard analysis of Laoag City, Northern Philippines for liquefaction potential assessment”. *Journal of Geotechnical Engineering*, 96, 28–42. 2008
- Chang et al. 2004. „3-D liquefaction Potential Analysis of Seabed at Nearshore Area”. *Journal of Marine Science and Technology*, 2004, 12(3): 141-51
- Chassagneux et al. “Methodology for Liquefaction Hazard Studies: New Tool and Recent Applications”. BRGM, Thematic Centre for Natural Geological Risks, PII: S 0 2 6 7 - 7 2 6 1 ( 9 8 ) 0 0 0 1 3 – X. 1998.
- Das, B. M. *Principles of Geotechnical Engineering*. PWS Publishers. New York. 1985.
- Faisal Indra, “Analisa *Soil Liquefaction* akibat Gempa Bumi berdasar Data SPT di Wilayah Pesisir Pacitan”. Teknik Kelautan 2013
- Jefferies, Mike and Ken Been. *Soil Liquefaction*. Taylor & Francis. Abingdon, Oxon. 2006.
- Jha, S. K. and Kiichi Suzuki. “Reliability Analysis of Soil Liquefaction Based on Standard Penetration Test”. *Computers and Geotechnics*, 36 (2009) 589- 596. 2008.
- Oka, F, *Soil Mechanics Lecture*, Morikita Publishing Company, Tokyo, Japan (in Japanese). 1995.
- Sladen et al. “Back Analysis of The Nerlerk Berm Liquefaction Slides”. *Canadian Geotechnical Journal*, 22, 4, 579–588. 1985.
- The Japanese Geotechnical Society. *Remedial Measures Against Soil Liquefaction*. A.A. Balkema. Rotterdam, Netherlands. 1998.
- PETA *HAZARD GEMPA INDONESIA* 2010. Kementrian Pekerjaan Umum, Jakarta. 2010

Youd, T.L. et al. "Liquefaction Resistance soils: Summary Report from The 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils". *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 127, No.8, pp.817-833. 2001.



# **LAMPIRAN A**

## **DATA TANAH**



BORE LOG										Sheets : 2/4		Bore Hole No: BH-4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														
PROJECT LOCATION			: GEOTECHNICAL SURVEY : SAENGGA										COORDINATES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																													
DATE OF START			: MARCH, 3RD , 2014					DATE OF FINISH		: MARCH, 4TH , 2014					X: 0284899																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
TOTAL DEPTH			: 40 m					BORING MACHINE		: TOHO D3G					Y: 9726279																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
BOR MASTER			: DENI					G W L		: -6 m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
D E P T H  (m)	S A M P L E	A G E	U N I T	L Y T H O L O G Y	SOIL AND ROCK DESCRIPTION	SPT			N	N graph x 10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
						15	30	45		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
10					SANDY CLAYEY SILT, GREY						1	2																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														

REMARKS

- : UNDISTURBED SAMPLE (UDS)
- : Standard Penetration Test (SPT)

BORE LOG												SHEETS : 3/4		Bore Hole No: BH-4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
PROJECT LOCATION		: GEOTECHNICAL SURVEY : SAENGGA										COORDINATES																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
DATE OF START : MARCH, 3RD, 2014					DATE OF FINISH : MARCH, 6TH, 2014					X: 0284899																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
TOTAL DEPTH : 40 m					BORING MACHINE : TOHO G20					Y: 9726279																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
BOR MASTER : DENI					G.W.L : 6 m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
D E P T H  (m)	S A M P L E	A Z I M	U N I T  (%)	Y T I L O G Y	SOIL AND ROCK DESCRIPTION	SPT			N	N graph x 10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
						15	30	45		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
20						15	30	45																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																														</

REMARKS

■ : UNDISTURBED SAMPLE (UDS)

■ : Standard Penetration Test (SPT)

BORE LOG										Sheets : 4/4		Bore Hole No. : BH-4						
PROJECT LOCATION		: GEOTECHNICAL SURVEY : SAENGGA										COORDINATES						
DATE OF START		: MARCH, 3RD, 2014					DATE OF FINISH		: MARCH, 4TH, 2014					X: 0284899				
TOTAL DEPTH		: 40 m					BORING MACHINE		: TORO D20					Y: 9726279				
BOR MASTER		: DENI					G.W.L		: 6 m									
DEPTH (m)	SAMPLING LOG	SOIL AND ROCK DESCRIPTION	SPT			N	N graph x 10											
			15	30	45		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
30																		
20.45																		
31																		
32																		
32.95		SANDY CLAYEY SILT, GREY																
33																		
34		SANDY CLAYEY SILT, GREY, COMPACTED																
35		CLAYEY SILTY SAND, GREY																
35.45																		
36		CLAYEY SILTY SAND, BLACK																
37		CLAYEY SILTY SAND, BLACK																
37.95																		
38																		
39																		
40		BLACK SAND																

REMARKS

■ : UNDISTURBED SAMPLE (UDS)

■ : Standard Penetration Test (SPT)

**LAMPIRAN B**

**OUTPUT CSR CALCULATION**

Earthquake Magnitude = 5.0

Output Results:

Calculation segment, dz=0.025 m

User defined Print Interval, dp=0.03 m

Depth m	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\Sigma$ tsf	$\gamma'$ kN/m <sup>3</sup>	$\Sigma'$ tsf	rd	CSR	fs (user)	CSRfs w/fs
0	11.0	0.000	11.00	0.000	1.00	0.20	1	0.20
1	11.0	0.115	11.00	0.115	0.99	0.19	1	0.19
2	11.0	0.230	11.00	0.230	0.98	0.19	1	0.19
3	11.0	0.345	11.00	0.345	0.98	0.19	1	0.19
4	16.0	0.485	16.00	0.485	0.97	0.19	1	0.19
5	16.4	0.653	16.40	0.653	0.96	0.19	1	0.19
6	17.2	0.828	7.40	0.828	0.95	0.19	1	0.19
7	18.0	1.012	8.20	0.910	0.95	0.21	1	0.21
8	18.0	1.200	8.20	0.995	0.94	0.22	1	0.22
9	18.0	1.388	8.20	1.081	0.93	0.23	1	0.23
10	17.0	1.571	7.20	1.162	0.91	0.24	1	0.24
11	17.0	1.748	7.20	1.237	0.88	0.24	1	0.24
12	17.0	1.926	7.20	1.312	0.85	0.24	1	0.24
13	17.0	2.103	7.20	1.387	0.83	0.24	1	0.24
14	17.0	2.281	7.20	1.462	0.80	0.24	1	0.24
15	17.0	2.459	7.20	1.537	0.77	0.24	1	0.24
16	17.0	2.636	7.20	1.613	0.75	0.24	1	0.24
17	17.0	2.814	7.20	1.688	0.72	0.23	1	0.23
18	17.0	2.991	7.20	1.763	0.69	0.23	1	0.23
19	17.0	3.169	7.20	1.838	0.67	0.22	1	0.22
20	17.0	3.346	7.20	1.913	0.64	0.22	1	0.22
21	17.0	3.524	7.20	1.989	0.61	0.21	1	0.21
22	18.4	3.708	8.60	2.071	0.59	0.20	1	0.20
23	19.8	3.908	10.00	2.168	0.56	0.20	1	0.20
24	21.2	4.122	11.40	2.279	0.55	0.19	1	0.19
25	22.6	4.350	12.80	2.406	0.54	0.19	1	0.19
26	24.0	4.593	14.20	2.546	0.54	0.19	1	0.19
27	24.0	4.844	14.20	2.695	0.53	0.19	1	0.19
28	24.0	5.094	14.20	2.843	0.52	0.18	1	0.18
29	20.0	5.325	10.20	2.971	0.51	0.18	1	0.18
30	22.0	5.544	12.20	3.088	0.50	0.18	1	0.18

Earthquake Magnitude = 6.0

Output Results:

Calculation segment, dz=0.025 m

User defined Print Interval, dp=0.03 m

Depth (m)	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\Sigma$ tsf	$\gamma'$ kN/m <sup>3</sup>	$\Sigma'$ tsf	rd	CSR	fs (user)	CSRfs
								w/fs
0	11	0	11	0	1	0.2	1	0.2
1	11	0.115	11	0.115	0.99	0.19	1	0.19
2	11	0.23	11	0.23	0.98	0.19	1	0.19
3	11	0.345	11	0.345	0.98	0.19	1	0.19
4	16	0.485	16	0.485	0.97	0.19	1	0.19
5	16.4	0.653	16.4	0.653	0.96	0.19	1	0.19
6	17.2	0.828	7.4	0.828	0.95	0.19	1	0.19
7	18	1.012	8.2	0.91	0.95	0.21	1	0.21
8	18	1.2	8.2	0.995	0.94	0.22	1	0.22
9	18	1.388	8.2	1.081	0.93	0.23	1	0.23
10	17	1.571	7.2	1.162	0.91	0.24	1	0.24
11	17	1.748	7.2	1.237	0.88	0.24	1	0.24
12	17	1.926	7.2	1.312	0.85	0.24	1	0.24
13	17	2.103	7.2	1.387	0.83	0.24	1	0.24
14	17	2.281	7.2	1.462	0.8	0.24	1	0.24
15	17	2.459	7.2	1.537	0.77	0.24	1	0.24
16	17	2.636	7.2	1.613	0.75	0.24	1	0.24
17	17	2.814	7.2	1.688	0.72	0.23	1	0.23
18	17	2.991	7.2	1.763	0.69	0.23	1	0.23
19	17	3.169	7.2	1.838	0.67	0.22	1	0.22
20	17	3.346	7.2	1.913	0.64	0.22	1	0.22
21	17	3.524	7.2	1.989	0.61	0.21	1	0.21
22	18.4	3.708	8.6	2.071	0.59	0.2	1	0.2
23	19.8	3.908	10	2.168	0.56	0.2	1	0.2
24	21.2	4.122	11.4	2.279	0.55	0.19	1	0.19
25	22.6	4.35	12.8	2.406	0.54	0.19	1	0.19
26	24	4.593	14.2	2.546	0.54	0.19	1	0.19
27	24	4.844	14.2	2.695	0.53	0.19	1	0.19
28	24	5.094	14.2	2.843	0.52	0.18	1	0.18
29	20	5.325	10.2	2.971	0.51	0.18	1	0.18
30	22	5.544	12.2	3.088	0.5	0.18	1	0.18



Earthquake Magnitude = 6.5

Output Results:

Calculation segment, dz=0.025 m

User defined Print Interval, dp=0.03 m

Depth (m)	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\Sigma$ tsf	$\gamma'$ kN/m <sup>3</sup>	$\Sigma'$ tsf	rd	CSR	fs (user)	CSRfs
								w/fs
0	11.0	0.000	11.00	0.000	1.00	0.20	1	0.20
1	11.0	0.115	11.00	0.115	0.99	0.19	1	0.19
2	11.0	0.230	11.00	0.230	0.98	0.19	1	0.19
3	11.0	0.345	11.00	0.345	0.98	0.19	1	0.19
4	16.0	0.485	16.00	0.485	0.97	0.19	1	0.19
5	16.4	0.653	16.40	0.653	0.96	0.19	1	0.19
6	17.2	0.828	7.40	0.828	0.95	0.19	1	0.19
7	18.0	1.012	8.20	0.910	0.95	0.21	1	0.21
8	18.0	1.200	8.20	0.995	0.94	0.22	1	0.22
9	18.0	1.388	8.20	1.081	0.93	0.23	1	0.23
10	17.0	1.571	7.20	1.162	0.91	0.24	1	0.24
11	17.0	1.748	7.20	1.237	0.88	0.24	1	0.24
12	17.0	1.926	7.20	1.312	0.85	0.24	1	0.24
13	17.0	2.103	7.20	1.387	0.83	0.24	1	0.24
14	17.0	2.281	7.20	1.462	0.80	0.24	1	0.24
15	17.0	2.459	7.20	1.537	0.77	0.24	1	0.24
16	17.0	2.636	7.20	1.613	0.75	0.24	1	0.24
17	17.0	2.814	7.20	1.688	0.72	0.23	1	0.23
18	17.0	2.991	7.20	1.763	0.69	0.23	1	0.23
19	17.0	3.169	7.20	1.838	0.67	0.22	1	0.22
20	17.0	3.346	7.20	1.913	0.64	0.22	1	0.22
21	17.0	3.524	7.20	1.989	0.61	0.21	1	0.21
22	18.4	3.708	8.60	2.071	0.59	0.20	1	0.20
23	19.8	3.908	10.00	2.168	0.56	0.20	1	0.20
24	21.2	4.122	11.40	2.279	0.55	0.19	1	0.19
25	22.6	4.350	12.80	2.406	0.54	0.19	1	0.19
26	24.0	4.593	14.20	2.546	0.54	0.19	1	0.19
27	24.0	4.844	14.20	2.695	0.53	0.19	1	0.19
28	24.0	5.094	14.20	2.843	0.52	0.18	1	0.18
29	20.0	5.325	10.20	2.971	0.51	0.18	1	0.18
30	22.0	5.544	12.20	3.088	0.50	0.18	1	0.18

Earthquake Magnitude = 7.0

Output Results:

Calculation segment, dz=0.025 m

User defined Print Interval, dp=0.03 m

Depth (m)	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\Sigma$ tsf	$\gamma'$ kN/m <sup>3</sup>	$\Sigma'$ tsf	rd	CSR	fs (user)	CSRfs
								w/fs
0	11.00	0.000	11.00	0.000	1.00	0.20	1	0.20
1	11.00	0.115	11.00	0.115	0.99	0.19	1	0.19
2	11.00	0.230	11.00	0.230	0.98	0.19	1	0.19
3	11.00	0.345	11.00	0.345	0.98	0.19	1	0.19
4	16.00	0.485	16.00	0.485	0.97	0.19	1	0.19
5	16.40	0.653	16.40	0.653	0.96	0.19	1	0.19
6	17.20	0.828	7.40	0.828	0.95	0.19	1	0.19
7	18.00	1.012	8.20	0.910	0.95	0.21	1	0.21
8	18.00	1.200	8.20	0.995	0.94	0.22	1	0.22
9	18.00	1.388	8.20	1.081	0.93	0.23	1	0.23
10	17.00	1.571	7.20	1.162	0.91	0.24	1	0.24
11	17.00	1.748	7.20	1.237	0.88	0.24	1	0.24
12	17.00	1.926	7.20	1.312	0.85	0.24	1	0.24
13	17.00	2.103	7.20	1.387	0.83	0.24	1	0.24
14	17.00	2.281	7.20	1.462	0.80	0.24	1	0.24
15	17.00	2.459	7.20	1.537	0.77	0.24	1	0.24
16	17.00	2.636	7.20	1.613	0.75	0.24	1	0.24
17	17.00	2.814	7.20	1.688	0.72	0.23	1	0.23
18	17.00	2.991	7.20	1.763	0.69	0.23	1	0.23
19	17.00	3.169	7.20	1.838	0.67	0.22	1	0.22
20	17.00	3.346	7.20	1.913	0.64	0.22	1	0.22
21	17.00	3.524	7.20	1.989	0.61	0.21	1	0.21
22	18.40	3.708	8.60	2.071	0.59	0.20	1	0.20
23	19.80	3.908	10.00	2.168	0.56	0.20	1	0.20
24	21.20	4.122	11.40	2.279	0.55	0.19	1	0.19
25	22.60	4.350	12.80	2.406	0.54	0.19	1	0.19
26	24.00	4.593	14.20	2.546	0.54	0.19	1	0.19
27	24.00	4.844	14.20	2.695	0.53	0.19	1	0.19
28	24.00	5.094	14.20	2.843	0.52	0.18	1	0.18
29	20.00	5.325	10.20	2.971	0.51	0.18	1	0.18
30	22.00	5.544	12.20	3.088	0.50	0.18	1	0.18

Earthquake Magnitude = 7.5

Output Results:

Calculation segment, dz=0.025 m

User defined Print Interval, dp=0.03 m

Depth (m)	$\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	$\Sigma$ tsf	$\gamma'$ kN/m <sup>3</sup>	$\Sigma'$ tsf	rd	CSR	fs (user)	CSRfs
								w/fs
0	11.00	0.000	11.00	0.000	1.00	0.20	1	0.20
1	11.00	0.115	11.00	0.115	0.99	0.19	1	0.19
2	11.00	0.230	11.00	0.230	0.98	0.19	1	0.19
3	11.00	0.345	11.00	0.345	0.98	0.19	1	0.19
4	16.00	0.485	16.00	0.485	0.97	0.19	1	0.19
5	16.40	0.653	16.40	0.653	0.96	0.19	1	0.19
6	17.20	0.828	7.40	0.828	0.95	0.19	1	0.19
7	18.00	1.012	8.20	0.910	0.95	0.21	1	0.21
8	18.00	1.200	8.20	0.995	0.94	0.22	1	0.22
9	18.00	1.388	8.20	1.081	0.93	0.23	1	0.23
10	17.00	1.571	7.20	1.162	0.91	0.24	1	0.24
11	17.00	1.748	7.20	1.237	0.88	0.24	1	0.24
12	17.00	1.926	7.20	1.312	0.85	0.24	1	0.24
13	17.00	2.103	7.20	1.387	0.83	0.24	1	0.24
14	17.00	2.281	7.20	1.462	0.80	0.24	1	0.24
15	17.00	2.459	7.20	1.537	0.77	0.24	1	0.24
16	17.00	2.636	7.20	1.613	0.75	0.24	1	0.24
17	17.00	2.814	7.20	1.688	0.72	0.23	1	0.23
18	17.00	2.991	7.20	1.763	0.69	0.23	1	0.23
19	17.00	3.169	7.20	1.838	0.67	0.22	1	0.22
20	17.00	3.346	7.20	1.913	0.64	0.22	1	0.22
21	17.00	3.524	7.20	1.989	0.61	0.21	1	0.21
22	18.40	3.708	8.60	2.071	0.59	0.20	1	0.20
23	19.80	3.908	10.00	2.168	0.56	0.20	1	0.20
24	21.20	4.122	11.40	2.279	0.55	0.19	1	0.19
25	22.60	4.350	12.80	2.406	0.54	0.19	1	0.19
26	24.00	4.593	14.20	2.546	0.54	0.19	1	0.19
27	24.00	4.844	14.20	2.695	0.53	0.19	1	0.19
28	24.00	5.094	14.20	2.843	0.52	0.18	1	0.18
29	20.00	5.325	10.20	2.971	0.51	0.18	1	0.18
30	22.00	5.544	12.20	3.088	0.50	0.18	1	0.18

**LAMPIRAN C**

**OUTPUT CRR CALCULATION**

Magnitude

7.5

CRR Calculation from SPT or

BPT data:

Depth m	SPT	Cebs	Cr	sigma' tsf	Cn	(N1)60	Fines %	d(N1)60	(N1)60f	CRR7.5
0	0	1	0.75	0	1.7	0	0	0	0	0.05
1	1	1	0.75	0.013	1.7	1.27	0	0	1.27	0.05
2	2	1	0.75	0.025	1.7	2.55	0	0	2.55	0.05
3	3	1	0.85	0.038	1.7	4.34	0	0	4.34	0.06
4	4	1	0.85	0.076	1.7	5.78	0	0	5.78	0.07
5	4.2	1	0.95	0.141	1.7	6.78	0	0	6.78	0.08
6	4.6	1	0.95	0.214	1.7	7.43	0	0	7.43	0.08
7	5	1	0.95	0.296	1.7	8.08	0	0	8.08	0.09
8	5.5	1	0.95	0.381	1.62	8.46	0	0	8.46	0.09
9	6	1	1	0.467	1.46	8.78	0	0	8.78	0.1
10	7	1	1	0.547	1.35	9.46	0	0	9.46	0.1
11	8	1	1	0.623	1.27	10.14	0	0	10.14	0.11
12	9	1	1	0.698	1.2	10.77	0	0	10.77	0.12
13	9.5	1	1	0.773	1.14	10.8	0	0	10.8	0.12
14	10	1	1	0.848	1.09	10.86	0	0	10.86	0.12
15	10	1	1	0.923	1.04	10.41	0	0	10.41	0.11
16	13	1	1	0.999	1	13.01	0	0	13.01	0.14
17	16	1	1	1.074	0.97	15.44	0	0	15.44	0.17
18	19	1	1	1.149	0.93	17.72	0	0	17.72	0.19
19	22	1	1	1.224	0.9	19.88	0	0	19.88	0.21
20	25	1	1	1.299	0.88	21.93	0	0	21.93	0.24
21	28	1	1	1.375	0.85	23.88	0	0	23.88	0.27
22	34.4	1	1	1.457	0.83	28.5	0	0	28.5	0.36
23	40.8	1	1	1.554	0.8	32.73	0	0	32.73	2
24	47.2	1	1	1.665	0.77	36.57	0	0	36.57	2
25	53.6	1	1	1.792	0.75	40.04	0	0	40.04	2
26	60	1	1	1.932	0.72	43.16	0	0	43.16	2
27	60	1	1	2.081	0.69	41.6	0	0	41.6	2
28	60	1	1	2.229	0.67	40.19	0	0	40.19	2
29	51	1	1	2.357	0.65	33.22	0	0	33.22	2
30	42	1	1	2.474	0.64	26.71	0	0	26.71	0.31

Magnitude 7

CRR Calculation from SPT

or BPT data:

Depth m	SPT	Cebs	Cr	sigma' tsf	Cn	(N1)60	Fines %	d(N1)60	(N1)60f	CRR7.5
0	0	1	0.75	0	1.7	0	0	0	0	0.05
1	1	1	0.75	0.013	1.7	1.27	0	0	1.27	0.05
2	2	1	0.75	0.025	1.7	2.55	0	0	2.55	0.05
3	3	1	0.85	0.038	1.7	4.34	0	0	4.34	0.06
4	4	1	0.85	0.076	1.7	5.78	0	0	5.78	0.07
5	4.2	1	0.95	0.141	1.7	6.78	0	0	6.78	0.08
6	4.6	1	0.95	0.214	1.7	7.43	0	0	7.43	0.08
7	5	1	0.95	0.296	1.7	8.08	0	0	8.08	0.09
8	5.5	1	0.95	0.381	1.62	8.46	0	0	8.46	0.09
9	6	1	1	0.467	1.46	8.78	0	0	8.78	0.1
10	7	1	1	0.547	1.35	9.46	0	0	9.46	0.1
11	8	1	1	0.623	1.27	10.14	0	0	10.14	0.11
12	9	1	1	0.698	1.2	10.77	0	0	10.77	0.12
13	9.5	1	1	0.773	1.14	10.8	0	0	10.8	0.12
14	10	1	1	0.848	1.09	10.86	0	0	10.86	0.12
15	10	1	1	0.923	1.04	10.41	0	0	10.41	0.11
16	13	1	1	0.999	1	13.01	0	0	13.01	0.14
17	16	1	1	1.074	0.97	15.44	0	0	15.44	0.17
18	19	1	1	1.149	0.93	17.72	0	0	17.72	0.19
19	22	1	1	1.224	0.9	19.88	0	0	19.88	0.21
20	25	1	1	1.299	0.88	21.93	0	0	21.93	0.24
21	28	1	1	1.375	0.85	23.88	0	0	23.88	0.27
22	34.4	1	1	1.457	0.83	28.5	0	0	28.5	0.36
23	40.8	1	1	1.554	0.8	32.73	0	0	32.73	2
24	47.2	1	1	1.665	0.77	36.57	0	0	36.57	2
25	53.6	1	1	1.792	0.75	40.04	0	0	40.04	2
26	60	1	1	1.932	0.72	43.16	0	0	43.16	2
27	60	1	1	2.081	0.69	41.6	0	0	41.6	2
28	60	1	1	2.229	0.67	40.19	0	0	40.19	2
29	51	1	1	2.357	0.65	33.22	0	0	33.22	2
30	42	1	1	2.474	0.64	26.71	0	0	26.71	0.31

Magnitude 6.5

CRR Calculation from SPT or

BPT data:

Depth m	SPT	Cebs	Cr	sigma' tsf	Cn	(N1)60	Fines %	d(N1)60	(N1)60f	CRR7.5
0	0	1	0.75	0	1.7	0	0	0	0	0.05
1	1	1	0.75	0.013	1.7	1.27	0	0	1.27	0.05
2	2	1	0.75	0.025	1.7	2.55	0	0	2.55	0.05
3	3	1	0.85	0.038	1.7	4.34	0	0	4.34	0.06
4	4	1	0.85	0.076	1.7	5.78	0	0	5.78	0.07
5	4.2	1	0.95	0.141	1.7	6.78	0	0	6.78	0.08
6	4.6	1	0.95	0.214	1.7	7.43	0	0	7.43	0.08
7	5	1	0.95	0.296	1.7	8.08	0	0	8.08	0.09
8	5.5	1	0.95	0.381	1.62	8.46	0	0	8.46	0.09
9	6	1	1	0.467	1.46	8.78	0	0	8.78	0.1
10	7	1	1	0.547	1.35	9.46	0	0	9.46	0.1
11	8	1	1	0.623	1.27	10.14	0	0	10.14	0.11
12	9	1	1	0.698	1.2	10.77	0	0	10.77	0.12
13	9.5	1	1	0.773	1.14	10.8	0	0	10.8	0.12
14	10	1	1	0.848	1.09	10.86	0	0	10.86	0.12
15	10	1	1	0.923	1.04	10.41	0	0	10.41	0.11
16	13	1	1	0.999	1	13.01	0	0	13.01	0.14
17	16	1	1	1.074	0.97	15.44	0	0	15.44	0.17
18	19	1	1	1.149	0.93	17.72	0	0	17.72	0.19
19	22	1	1	1.224	0.9	19.88	0	0	19.88	0.21
20	25	1	1	1.299	0.88	21.93	0	0	21.93	0.24
21	28	1	1	1.375	0.85	23.88	0	0	23.88	0.27
22	34.4	1	1	1.457	0.83	28.5	0	0	28.5	0.36
23	40.8	1	1	1.554	0.8	32.73	0	0	32.73	2
24	47.2	1	1	1.665	0.77	36.57	0	0	36.57	2
25	53.6	1	1	1.792	0.75	40.04	0	0	40.04	2
26	60	1	1	1.932	0.72	43.16	0	0	43.16	2
27	60	1	1	2.081	0.69	41.6	0	0	41.6	2
28	60	1	1	2.229	0.67	40.19	0	0	40.19	0.31
30	42	1	1	2.474	0.64	26.71	0	0	26.71	

Magnitude 6

CRR Calculation from SPT or

BPT data:

Depth m	SPT	Cebs	Cr	sigma' tsf	Cn	(N1)60	Fines %	d(N1)60	(N1)60f	CRR7.5
0	0	1	0.75	0	1.7	0	0	0	0	0.05
1	1	1	0.75	0.013	1.7	1.27	0	0	1.27	0.05
2	2	1	0.75	0.025	1.7	2.55	0	0	2.55	0.05
3	3	1	0.85	0.038	1.7	4.34	0	0	4.34	0.06
4	4	1	0.85	0.076	1.7	5.78	0	0	5.78	0.07
5	4.2	1	0.95	0.141	1.7	6.78	0	0	6.78	0.08
6	4.6	1	0.95	0.214	1.7	7.43	0	0	7.43	0.08
7	5	1	0.95	0.296	1.7	8.08	0	0	8.08	0.09
8	5.5	1	0.95	0.381	1.62	8.46	0	0	8.46	0.09
9	6	1	1	0.467	1.46	8.78	0	0	8.78	0.1
10	7	1	1	0.547	1.35	9.46	0	0	9.46	0.1
11	8	1	1	0.623	1.27	10.14	0	0	10.14	0.11
12	9	1	1	0.698	1.2	10.77	0	0	10.77	0.12
13	9.5	1	1	0.773	1.14	10.8	0	0	10.8	0.12
14	10	1	1	0.848	1.09	10.86	0	0	10.86	0.12
15	10	1	1	0.923	1.04	10.41	0	0	10.41	0.11
16	13	1	1	0.999	1	13.01	0	0	13.01	0.14
17	16	1	1	1.074	0.97	15.44	0	0	15.44	0.17
18	19	1	1	1.149	0.93	17.72	0	0	17.72	0.19
19	22	1	1	1.224	0.9	19.88	0	0	19.88	0.21
20	25	1	1	1.299	0.88	21.93	0	0	21.93	0.24
21	28	1	1	1.375	0.85	23.88	0	0	23.88	0.27
22	34.4	1	1	1.457	0.83	28.5	0	0	28.5	0.36
23	40.8	1	1	1.554	0.8	32.73	0	0	32.73	2
24	47.2	1	1	1.665	0.77	36.57	0	0	36.57	2
25	53.6	1	1	1.792	0.75	40.04	0	0	40.04	2
26	60	1	1	1.932	0.72	43.16	0	0	43.16	2
27	60	1	1	2.081	0.69	41.6	0	0	41.6	2
28	60	1	1	2.229	0.67	40.19	0	0	40.19	2
29	51	1	1	2.357	0.65	33.22	0	0	33.22	2
30	42	1	1	2.474	0.64	26.71	0	0	26.71	0.31



Magnitude 5

CRR Calculation from SPT or

BPT data:

Depth (m)	SPT	Cebs	Cr	sigma' tsf	Cn	(N1)60	Fines %	d(N1)60	(N1)60f	CRR7.5
0	0	1	0.75	0	1.7	0	0	0	0	0.05
1	1	1	0.75	0.013	1.7	1.27	0	0	1.27	0.05
2	2	1	0.75	0.025	1.7	2.55	0	0	2.55	0.05
3	3	1	0.85	0.038	1.7	4.34	0	0	4.34	0.06
4	4	1	0.85	0.076	1.7	5.78	0	0	5.78	0.07
5	6	1	0.95	0.141	1.7	6.78	0	0	6.78	0.08
6	6	1	0.95	0.214	1.7	7.43	0	0	7.43	0.08
7	5	1	0.85	0.296	1.7	8.08	0	0	8.08	0.09
8	5	1	0.85	0.381	1.62	8.46	0	0	8.46	0.09
9	6	1	0.95	0.467	1.46	8.78	0	0	8.78	0.1
10	7	1	0.95	0.547	1.35	9.46	0	0	9.46	0.1
11	8	1	1	0.623	1.27	10.14	0	0	10.14	0.11
12	9	1	1	0.698	1.2	10.77	0	0	10.77	0.12
13	10	1	1	0.773	1.14	10.8	0	0	10.8	0.12
14	10	1	1	0.848	1.09	10.86	0	0	10.86	0.12
15	10	1	1	0.923	1.04	10.41	0	0	10.41	0.11
16	10	1	1	0.999	1	13.01	0	0	13.01	0.14
17	13	1	1	1.074	0.97	15.44	0	0	15.44	0.17
18	20	1	1	1.149	0.93	17.72	0	0	15.44	0.19
19	23	1	1	1.224	0.9	19.88	0	0	17.72	0.21
20	25	1	1	1.299	0.88	21.93	0	0	19.88	0.24
21	28	1	1	1.375	0.85	23.88	0	0	21.93	0.27
22	38	1	1	1.457	0.83	28.5	0	0	23.88	0.36
23	49	1	1	1.554	0.8	32.73	0	0	28.5	2
24	54	1	1	1.665	0.77	36.57	0	0	32.73	2
25	60	1	1	1.792	0.75	40.04	0	0	36.57	2
26	60	1	1	1.932	0.72	43.16	0	0	40.04	2
27	60	1	1	2.081	0.69	41.6	0	0	43.16	2
28	60	1	1	2.229	0.67	40.19	0	0	41.6	2
29	51	1	1	2.357	0.65	33.22	0	0	40.19	2
30	42	1	1	2.474	0.64	26.71	0	0	33.22	0.31

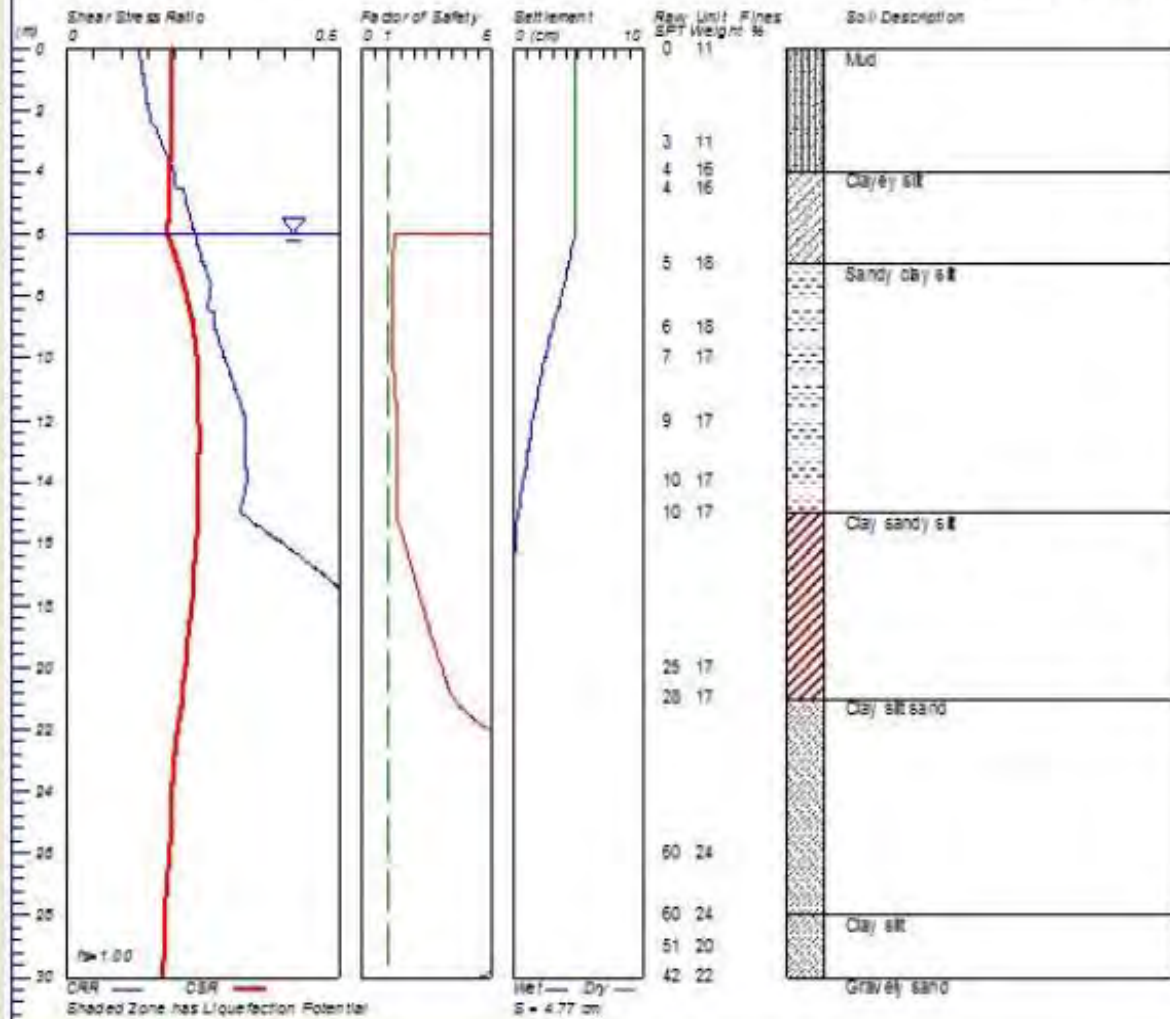
**LAMPIRAN D**

**LIQUEFACTION ANALYSIS**

# LIQUEFACTION ANALYSIS

Hole No.=BH-4 Water Depth=6 m Surface Elev.=0

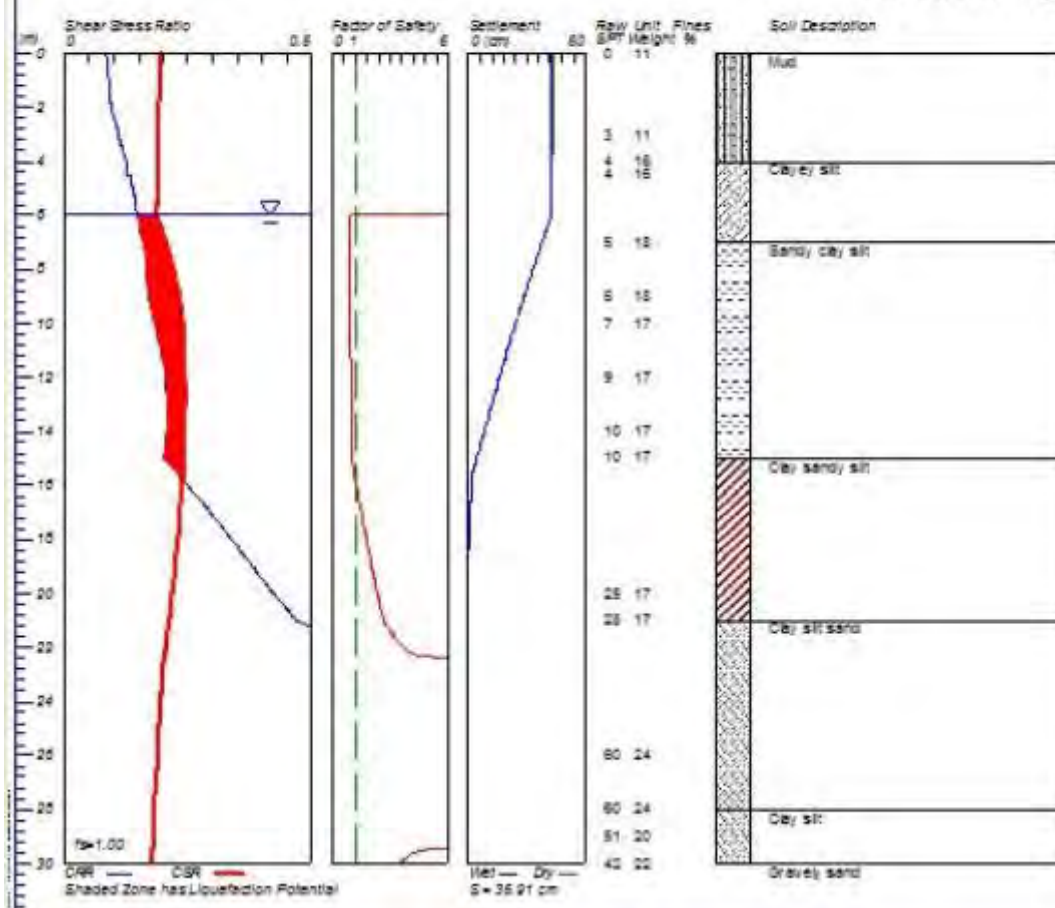
Magnitude=5  
Acceleration=0.3g



# LIQUEFACTION ANALYSIS

Hole No.=BH-4 Water Depth=6 m Surface Elev.=0

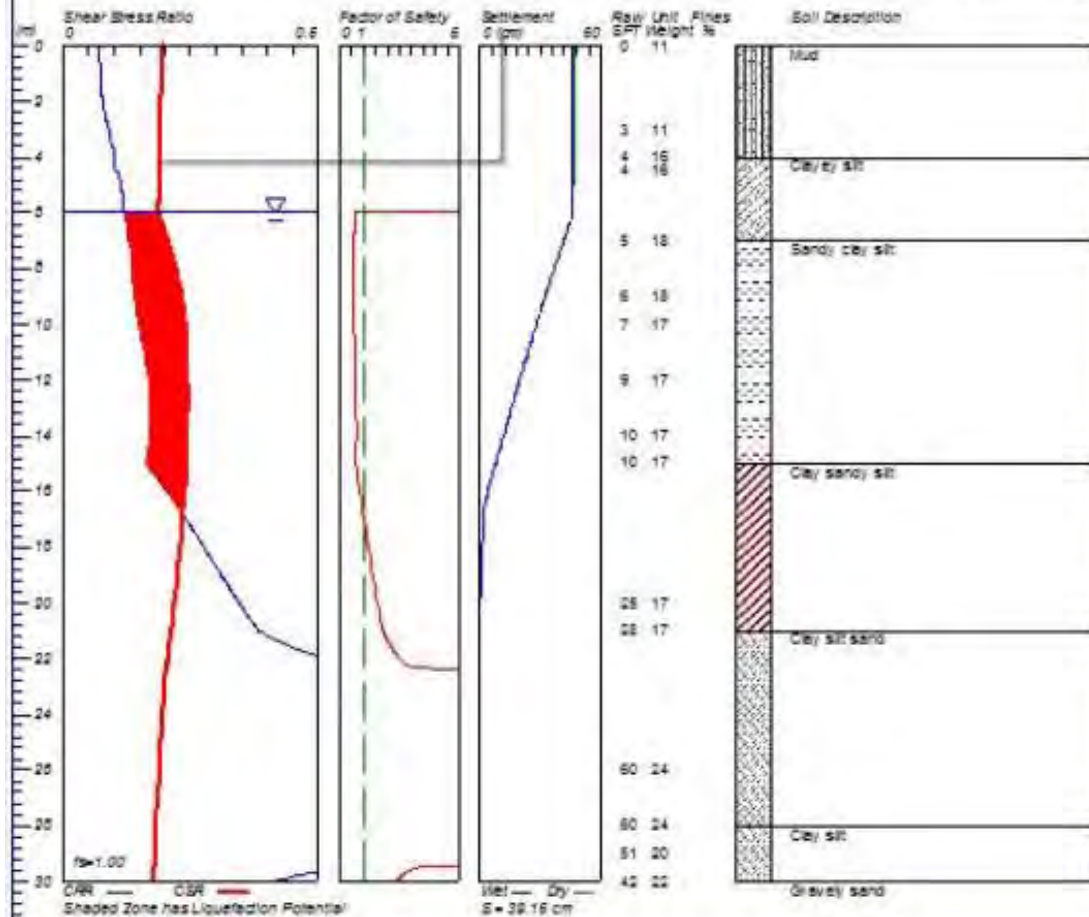
Magnitude=6  
Acceleration=0.3g



# LIQUEFACTION ANALYSIS

Hole No.=BH-4 Water Depth=6 m Surface Elev.=0

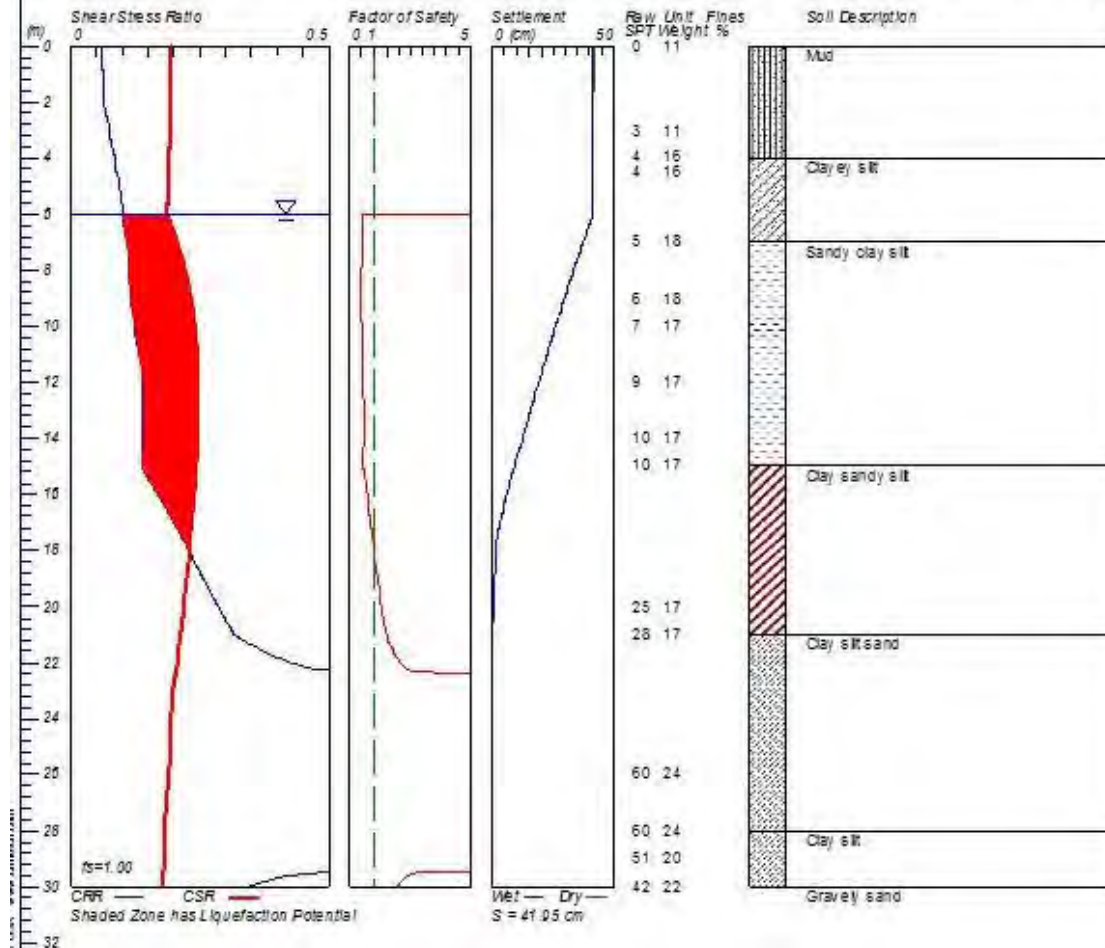
Magnitude=6.5  
Acceleration=0.3g



# LIQUEFACTION ANALYSIS

Hole No.=BH-4 Water Depth=6 m Surface Elev.=0

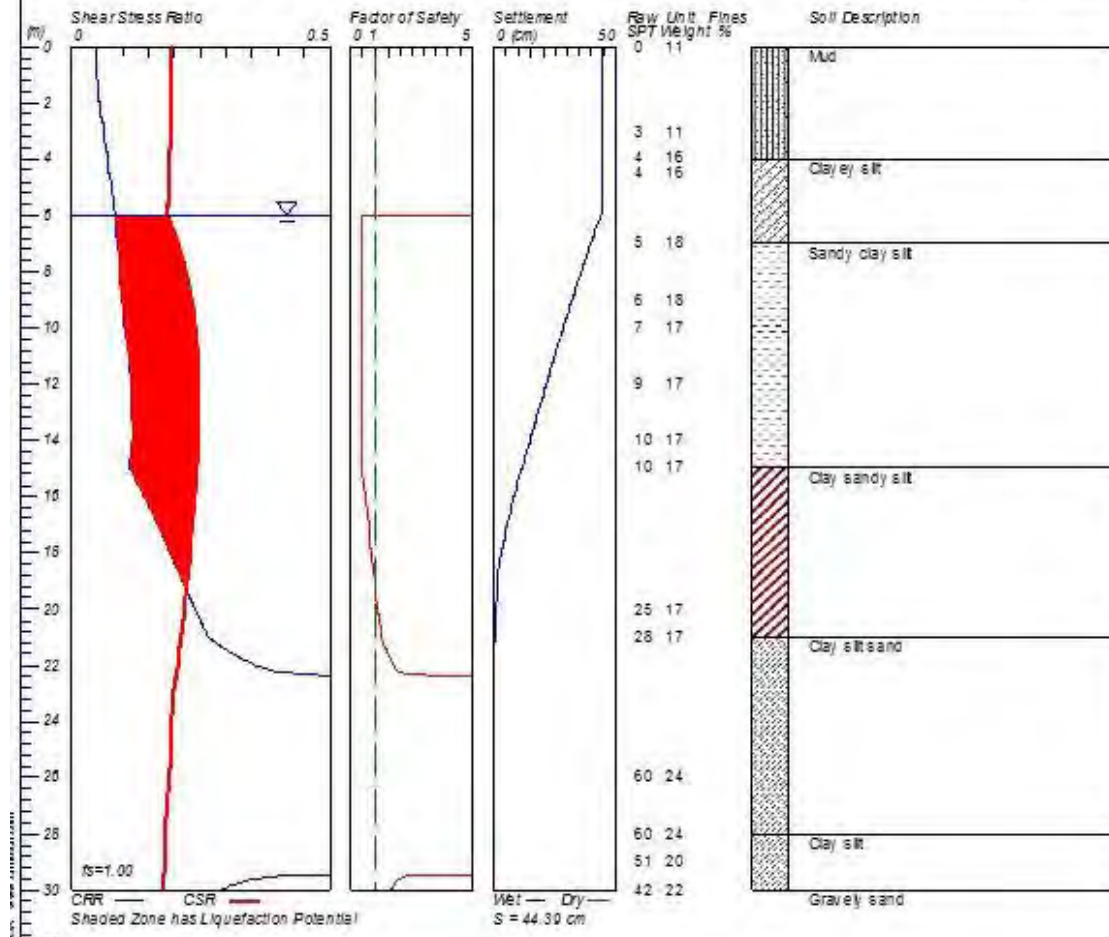
Magnitude=7  
Acceleration=0.3g



# LIQUEFACTION ANALYSIS

Hole No.=BH-4 Water Depth=6 m Surface Elev.=0

Magnitude=7.5  
Acceleration=0.3g





## BIODATA PENULIS



Carolina Ardhylla Sasanti, dilahirkan di Gianyar, 03 Maret 1993, merupakan anak pertama dari 2 besaudara. Pendidikan pertamanya diselesaikan dengan baik di SD Negeri 1 Gianyar, kemudian melanjutkan di SMP Negeri 1 Gianyar. Setelah selesai pendidikan kedua, penulis melanjutkan studinya di SMA Negeri 3 Denpasar dan lulus pada tahun 2011. Pada tahun yang sama 2011, penulis melanjutkan studinya di Jurusan Teknik Kelautan dan terdaftar dengan NRP 4311100019 melalui jalur SNMPTN. Berbagai pelatihan dan seminar pernah diikuti dalam rangka untuk pengembangan dirinya. Selama kuliah penulis aktif dibeberapa organisasi kemahasiswaan baik intra kampus maupun ekstra kampus. Penulis juga pernah menjabat sebagai admin Laboratorium Komputasi dan Permodelan Numerik selama 2 periode. Dipenghujung kuliah, dengan bimbingan Dr. Eng. Kriyo Sambodho, S.T., M.Eng dan Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc., mengambil Tugas Akhir tentang “Studi Potensi *Soil Liquefaction* di Rencana Lokasi Genting Oil Kasuri Papua Barat “